

Astr. P.

75. ⁵

DIE

ABERRATION DER FIXSTERNE

NACH DER WELLENTHEORIE.

Astr. P.
75²

Klinkerfues

DIE

ABERRATION DER FIXSTERNE

NACH DER WELLENTHEORIE.

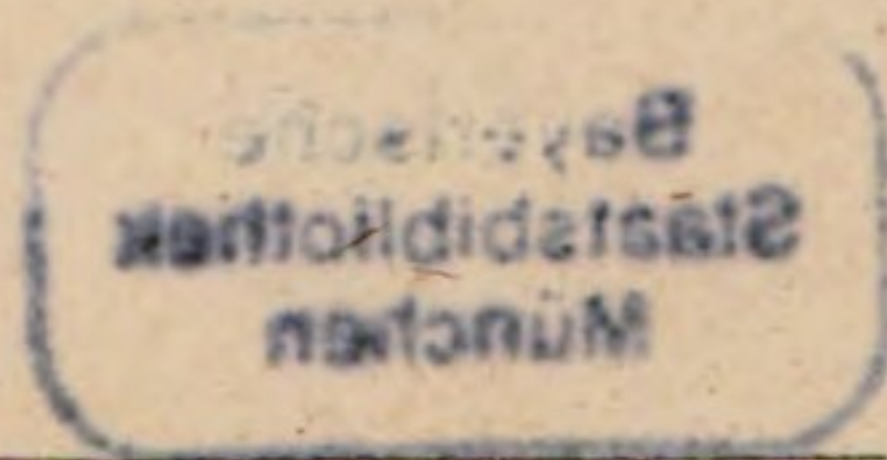
DIE
ABERRATION DER FIXSTERNE

NACH DER WELLENTHEORIE.

VON

W. KLINKERFUES,

PROFESSOR UND DIRECTOR DER KÖNIGLICHEN STERNWARTE ZU GÖTTINGEN.

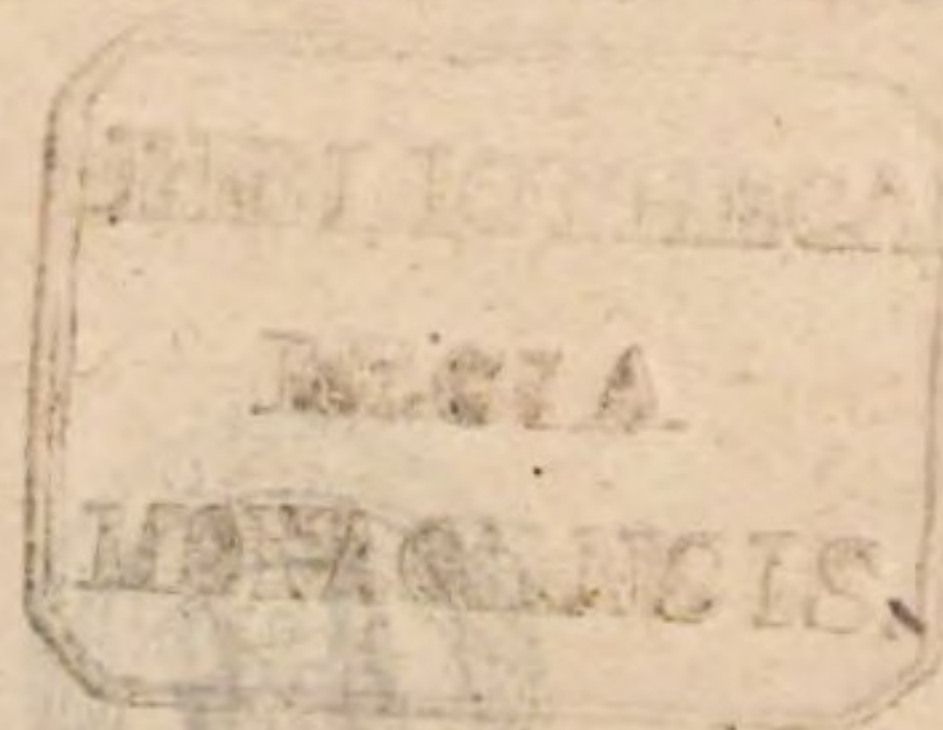


LEIPZIG

VERLAG VON QUANDT & HÄNDEL.

1867.

405 - A.



INHALT.

	Seite
Erklärung und Disposition	1

I.

Die durch die Bewegung der Erde verursachte optische Täuschung, oder die Bradley'sche Fixstern-Aberration	7
---	---

II.

Nachweis aus den Beobachtungen, dass durch die Erdbewegung auch die wahre Richtung eines gespiegelten oder gebrochenen Strahles geändert wird	11
---	----

III.

Ueber den Einfluss der Bewegung der Scheidewand zweier Medien	15
---	----

IV.

Einige Bemerkungen zu dem vorhergehenden Abschnitte und der daraus auf den Einfluss der translatorischen Bewegung des Aethers zu ziehende Schluss	22
---	----

V.

Die Fresnel'schen Hypothesen und ihre Rolle in der Aberrationslehre	28
---	----

INHALT.

Seite

VI.

Begründung des Satzes, dass für die Lage des gespiegelten oder gebrochenen Strahls nur diejenigen translatorischen Bewegungen des Aethers von Einfluss sind, welche die Scheidewand der Mittel ändern	38
---	----

VII.

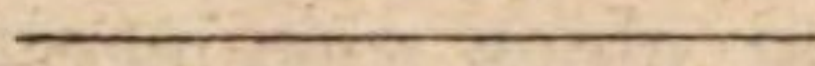
Abhängigkeit der Aberrationsconstante eines Fernrohrs von der Glasdicke des Objectivs	41
---	----

VIII.

Unterschied zwischen Delambre's und Struve's Aberrationsconstante, abgeleitet aus der Theorie	47
---	----

ANHANG.

Ausführung des von Boscovich vorgeschlagenen Versuches der Beobachtung von Sternen durch eine Säule mit Flüssigkeit, welche im Innern eines Fernrohrs angebracht ist	53
--	----



DIE ABERRATION DER FIXSTERNE.

Erklärung und Disposition.

Unter der Benennung „Aberration“ werden fast stets in den dieses Thema behandelnden Schriften zwei verschiedene Vorgänge zusammengefasst; erstens die Täuschung, welcher wir über die Richtung des Strahls vermöge der Bewegung unseres Standpunktes unterliegen, und welche ganz vergleichbar ist derjenigen, welcher wir in einem schnell fahrenden Wagen oder Eisenbahnzuge über die Richtung des strömenden Regens verfallen; zweitens, die *wirkliche* Veränderung der Richtung des Strahls, welche die Bewegung der Erde noch ausserdem zur Folge hat. Man kann den erstern den physiologischen, den letzteren den physischen Theil der Aberration nennen. Das Confundiren dieser zwei verschiedenen Wirkungen unter dem Begriffe der Aberration, indem man unter Aberration die gesammte, durch die Erdbewegung verursachte, scheinbare und wirkliche Aenderung in der Richtung des Strahls versteht, ist der Behandlung des Gegenstandes nichts weniger als günstig gewesen. Schon die Rücksicht auf Zweckmässigkeit und scharfe Begrenzung der Begriffe in jeder Terminologie würde hinreichen, das Zusammenfassen zweier, nur durch gemeinschaftlichen Ursprung verwandter, im Uebrigen aber verschiedener Vorgänge nicht sehr vortheilhaft zu finden. Es kommt nun aber noch hinzu, dass jene beiden Theile der Aberration von sehr verschiedener Schwierigkeit der Behandlung sind.

Bei dem physischen Theile oder den wirklichen Aenderungen in der Richtung des gespiegelten oder des gebrochenen Strahls, soweit sie Folge der Erdbewegung ist, muss man doch eine Abhängigkeit von der translatorischen oder strömenden Bewegung des Aethers voraussetzen, sollte man auch a posteriori zu der Erkenntniss gelangen, dass diese Strömung für die Erscheinung gleichgültig ist. Man erkennt deshalb sogleich, dass die Behandlung *dieser* Wirkung weit schwieriger erscheinen muss, als die der physiologischen: der Täuschung, welcher wir bei Anwendung eines Fernrohrs mit Fadenkreuz, oder auch eines Diopters mit Visiröffnung und Fadenkreuz verfallen. In letzterer Beziehung handelt es sich lediglich darum, zu bestimmen, um welche Grösse das Fadenkreuz von einem, mit gegebener Geschwindigkeit und parallel mit der Axe, das Sehwerkzeug durchlaufenden, Strahle entfernt wird. Ist diese Grösse, während die Länge der Axe durchlaufen wird, dieselbe, so ist offenbar auch die Täuschung über die wahre Richtung des Strahls dieselbe, und wir erkennen leicht, dass diese Täuschung ganz unabhängig von allen Modificationen in der Construction der Augen ist, die Brechung in demselben also gar keine Rolle spielt. Wir können ferner von dieser physiologischen Wirkung eine Bemerkung machen, deren Richtigkeit nahe bis zur Trivialität evident ist, die aber dennoch, so wenig tief und fruchtbar sie auf den ersten Blick erscheint, uns gewissermassen den Schlüssel zu der ganzen Aberrationslehre liefern wird.

Es ist nämlich klar, dass wenn zwei Strahlen von ursprünglich beliebig verschiedener Richtung die Fadenebene eines Fernrohrs in gleicher Richtung passiren, die über diese ihre Schlussrichtung durch die Erdbewegung verursachte Täuschung für beide von derselben Grösse und der zu derselben Richtung senkrechten Componente der Erdbewegung proportional ist. Dieser Satz liefert uns nun die logische Disposition unserer Behandlung in folgender Weise.

Wenden wir denselben auf die höchst zahlreichen, ja alltäglichen Fälle astronomischer Beobachtungen an, in denen ein Strahl durch Spiegelung in die Axe eines Fernrohrs gebracht wird, so zeigt die Erfahrung auf das Unumstösslichste, dass der Theil der Aberration, für welchen oben die Benen-

nung: *physiologische Aberration* gewählt wurde, durch die der Reflexion des Strahls entsprechende Richtungsänderung um eben soviel geändert wird, als die *physische Aberration*, aber in entgegengesetztem Sinne; denn die viele tausendmal gemachte und zu machende Erfahrung spricht sich eben dahin aus, dass die Summe beider Aenderungen Null ist. Es liegen, allerdings weniger zahlreiche, Beobachtungen auch dafür vor, dass dieselbe Compensation auch eintritt, wenn ein Strahl durch *Brechung* in eine von seiner ursprünglichen Richtung verschiedene Schlussrichtung gebracht wird.

Diese im Wesentlichen von Fresnel fast nur mit andern Worten ausgesprochene Bemerkung, liefert uns also *eine* für die Aberrationslehre sehr wichtige Eigenschaft, die Art wie die *physische Aberration* geändert wird, wenn der Strahl durch Brechung oder Spiegelung abgelenkt wird, oder, was offenbar ganz dasselbe ist, den Einfluss der Erdbewegung auf die Brechung und Spiegelung. Da wir dies auf dem Wege der Erfahrung, unabhängig von jeder Hypothese über die translatorische Bewegung oder Strömung des Aethers erhalten, so haben wir damit zugleich eine Erfahrung über die letztere gewonnen. Unter Zugrundelegung der Sätze, nach welchen in der Wellentheorie die Brechung und die Spiegelung erklärt wird, ergiebt sich, dass der Einfluss der Erdbewegung auf Spiegelung und Brechung gerade so beschaffen ist, wie es der Fall sein müsste, wenn der Aether, sowohl des Mediums wie des Weltenraums von translatorischer Bewegung ganz frei wäre, oder besser gesagt, als wenn bloss die Scheidewand der brechenden oder spiegelnden Medien bewegt werde, ohne von translatorischer Bewegung des Aethers begleitet zu sein. Wir schliessen daraus, dass *entweder* der Aether wirklich in Ruhe, *oder* dass seine *translatorische* Bewegung überhaupt keinen Einfluss auf die Erscheinung hat. In diesem Dilemma finden wir die erstere Annahme aus verschiedenen Gründen verwerflich, müssten uns also schon erfahrungsgemäss für die zweite entscheiden; wir sind aber noch ausserdem im Stande nachzuweisen, dass nur das Letztere, also die Unabhängigkeit der *physischen Aberration* von Hypothesen über die translatorische Bewegung des Aethers, mit den Grundlehren der Wellentheorie im Einklange ist, wobei wir aber nicht unterlassen wollen zu be-

Bei dem physischen Theile oder den wirklichen Aenderungen in der Richtung des gespiegelten oder des gebrochenen Strahls, soweit sie Folge der Erdbewegung ist, muss man doch eine Abhängigkeit von der translatorischen oder strömenden Bewegung des Aethers voraussetzen, sollte man auch a posteriori zu der Erkenntniss gelangen, dass diese Strömung für die Erscheinung gleichgültig ist. Man erkennt deshalb sogleich, dass die Behandlung *dieser* Wirkung weit schwieriger erscheinen muss, als die der physiologischen: der Täuschung, welcher wir bei Anwendung eines Fernrohrs mit Fadenkreuz, oder auch eines Diopters mit Visiröffnung und Fadenkreuz verfallen. In letzterer Beziehung handelt es sich lediglich darum, zu bestimmen, um welche Grösse das Fadenkreuz von einem, mit gegebener Geschwindigkeit und parallel mit der Axe, das Sehwerkzeug durchlaufenden, Strahle entfernt wird. Ist diese Grösse, während die Länge der Axe durchlaufen wird, dieselbe, so ist offenbar auch die Täuschung über die wahre Richtung des Strahls dieselbe, und wir erkennen leicht, dass diese Täuschung ganz unabhängig von allen Modificationen in der Construction der Augen ist, die Brechung in demselben also gar keine Rolle spielt. Wir können ferner von dieser physiologischen Wirkung eine Bemerkung machen, deren Richtigkeit nahe bis zur Trivialität evident ist, die aber dennoch, so wenig tief und fruchtbar sie auf den ersten Blick erscheint, uns gewissermassen den Schlüssel zu der ganzen Aberrationslehre liefern wird.

Es ist nämlich klar, dass wenn zwei Strahlen von ursprünglich beliebig verschiedener Richtung die Fadenebene eines Fernrohrs in gleicher Richtung passiren, die über diese ihre Schlussrichtung durch die Erdbewegung verursachte Täuschung für beide von derselben Grösse und der zu derselben Richtung senkrechten Componente der Erdbewegung proportional ist. Dieser Satz liefert uns nun die logische Disposition unserer Behandlung in folgender Weise.

Wenden wir denselben auf die höchst zahlreichen, ja alltäglichen Fälle astronomischer Beobachtungen an, in denen ein Strahl durch Spiegelung in die Axe eines Fernrohrs gebracht wird, so zeigt die Erfahrung auf das Unumstösslichste, dass der Theil der Aberration, für welchen oben die Benen-

nung: *physiologische Aberration* gewählt wurde, durch die der Reflexion des Strahls entsprechende Richtungsänderung um eben soviel geändert wird, als die *physische Aberration*, aber in entgegengesetztem Sinne; denn die viele tausendmal gemachte und zu machende Erfahrung spricht sich eben dahin aus, dass die Summe beider Aenderungen Null ist. Es liegen, allerdings weniger zahlreiche, Beobachtungen auch dafür vor, dass dieselbe Compensation auch eintritt, wenn ein Strahl durch *Brechung* in eine von seiner ursprünglichen Richtung verschiedene Schlussrichtung gebracht wird.

Diese im Wesentlichen von Fresnel fast nur mit andern Worten ausgesprochene Bemerkung, liefert uns also *eine* für die Aberrationslehre sehr wichtige Eigenschaft, die Art wie die *physische Aberration* geändert wird, wenn der Strahl durch Brechung oder Spiegelung abgelenkt wird, oder, was offenbar ganz dasselbe ist, den Einfluss der Erdbewegung auf die Brechung und Spiegelung. Da wir dies auf dem Wege der Erfahrung, unabhängig von jeder Hypothese über die translatorische Bewegung oder Strömung des Aethers erhalten, so haben wir damit zugleich eine Erfahrung über die letztere gewonnen. Unter Zugrundelegung der Sätze, nach welchen in der Wellentheorie die Brechung und die Spiegelung erklärt wird, ergibt sich, dass der Einfluss der Erdbewegung auf Spiegelung und Brechung gerade so beschaffen ist, wie es der Fall sein müsste, wenn der Aether, sowohl des Mediums wie des Weltenraums von translatorischer Bewegung ganz frei wäre, oder besser gesagt, als wenn bloss die Scheidewand der brechenden oder spiegelnden Medien bewegt werde, ohne von translatorischer Bewegung des Aethers begleitet zu sein. Wir schliessen daraus, dass *entweder* der Aether wirklich in Ruhe, *oder* dass seine *translatorische* Bewegung überhaupt keinen Einfluss auf die Erscheinung hat. In diesem Dilemma finden wir die erstere Annahme aus verschiedenen Gründen verwerflich, müssten uns also schon erfahrungsgemäss für die zweite entscheiden; wir sind aber noch ausserdem im Stande nachzuweisen, dass nur das Letztere, also die Unabhängigkeit der *physischen Aberration* von Hypothesen über die translatorische Bewegung des Aethers, mit den Grundlehren der Wellentheorie im Einklange ist, wobei wir aber nicht unterlassen wollen zu be-

merken, dass sich diese Unabhängigkeit nur auf solche Erscheinungen erstreckt, welche, wie die vorliegende, lediglich mit der Lage von Wellen-Ebenen und deren Normalen zu schaffen hat. Bei den Diffractions-Erscheinungen z. B., bei welchen noch andere Verhältnisse massgebend sind, kann man die Unabhängigkeit der Erscheinung von der translatorischen Bewegung des Aethers nicht behaupten; man weiss auch, dass Fizeau's Scharfsinn in den Diffractions-Erscheinungen ein Mittel erkannt hat, die translatorische Bewegung des Aethers selbst zu messen und gewisse Hypothesen von Fresnel zu prüfen, die wir später anführen werden.

Wir stossen hier noch auf die in praktischer Hinsicht wichtige Frage, ob die Aberrations-Constante vom Instrument abhängig sei oder nicht. Fresnel hält sich, indem er darüber eine Theorie aufzustellen sucht, an die Erfahrungen, die zu seiner Zeit vorlagen. Diese liefen lediglich darauf hinaus, dass die von Delambre aus den Verfinsterungen des ersten Jupiter-Trabanten geschlossene Geschwindigkeit des Lichts mit der Bradley'schen Constante sehr nahe übereinstimme. Man konnte daraus ableiten, dass eine von der Glasdicke des Objectivs, wie unten ausführlicher entwickelt werden wird, zu erwartende Wirkung sich bis *dahin* nicht verrathe, weil diese Wirkung, wenn überhaupt vorhanden, sich nur in einer sehr kleinen, den damaligen Fixsternbeobachtungen noch kaum zugänglichen Grösse offenbarte. Es sei hier gleich angeführt, dass aus der eben angedeuteten Ursache bei einem Fernrohre von mittleren Dimensionen, wie sie zu Passage-Beobachtungen gebraucht werden, die Aberrations-Constante um nahe $0'',20$ grösser gefunden werden muss, als die Delambre'sche.

Wie dem praktischen Astronomen bekannt, geben in Wirklichkeit die neueren und besten Fixstern-Beobachtungen die Aberrations-Constante im Mittel sehr nahe um $0'',20$ grösser als Delambre's Werth $20'',255$. Es wird unten eine Formel entwickelt werden, wonach die Constante für ein irgendwie zusammengesetztes Objectiv aus dessen Brechungs-Indices, Glasdicken und Krümmungshalbmessern in Schärfe berechnet werden kann.

Fresnel verneinte die Abhängigkeit der Aberration von den Mitteln, aus denen ein Fernrohr construirt ist, theils aus

zu grossem Vertrauen auf die damals vorliegenden Fixstern-Beobachtungen, theils aber gewiss auch aus Neigung, das so einfache Verhalten der Aberration in der Emissionstheorie auch für die Wellentheorie constatirt zu sehen. Aus diesem Grunde ist ihm auch die Bemerkung entgangen, dass die translatorische Bewegung des Aethers, wenn sie den von ihm aufgestellten Hypothesen conform ist, dennoch für die Grösse der Aberrations-Constante ohne Bedeutung bleibt.

Man ersieht aus dem Vorhergehenden, dass die Scheidung der Begriffe in der Aberrationslehre, die Trennung desjenigen Theils, der in einer Täuschung über die Richtung des Strahls besteht, von demjenigen, welcher einer wirklichen durch die Erdbewegung im Falle von Spiegelung oder Brechung veranlassten Richtungs-Änderung des gespiegelten oder gebrochenen Strahls entspricht, von unleugbarem Nutzen ist. Es kommt durch diese Betrachtungsweise eine wohlstabilirte Harmonie in die Aberrationslehre, welche sich nun nach der Wellentheorie ebenso rationell behandeln lässt, als dieses für irgend eine andere Disciplin der höhern Optik der Fall. So lange freilich die Optik nicht aus den Integralen der allgemeinsten Differentialgleichungen der Bewegung eines elastischen Mediums, mit Rücksicht auf die Ausdehnung der optischen Mittel und alle arbiträre Bewegungen in denselben, wie ein Baum *ex nuce* sich entwickeln lässt, so lange haften allerdings an der Strenge der Begründung optischer Sätze, und also auch der Aberrationslehre gewisse Mängel. Niemand wird indessen wohl im Ernste Ansprüche auf eine für das Gedeihen der Naturwissenschaften viel zu ideale Strenge erheben und z. B. verlangen, dass alle theoretischen Betrachtungen der höhern Optik und der Aberrationslehre sistirt werden, bis es vielleicht zukünftigen Zeiten gelungen ist, jene allgemeinsten Gleichungen zu integriren. Lamé selbst bemerkt einmal an einer Stelle seiner bekannten Elasticitätslehre, dass es ein Irrthum sein würde, zu glauben, man könne analytische Optik schreiben ganz im Style der analytischen Mechanik, bei welcher letztern stets zuerst die *ganze Theorie* aufgestellt werden kann und der Erfahrung Nichts übrig gelassen zu werden braucht, als zuletzt die willkürlichen Constanten zu substituiren. In der analytischen Optik kann nur ein zweckmässiger Wechsel

zwischen Theorie und Erfahrung weiter bringen. Von der Aberrationslehre speciell lässt sich übrigens noch sagen, dass bei ihr besondere Umstände eintreten, welche vielleicht ganz von jener allgemeinsten Lösung dispensiren, in ähnlicher Weise, wie man äusserst oft, wenn man ein bestimmtes Integral ermitteln will, von der Kenntniss des allgemeinen Integrals dispensirt wird. Die specielle Besprechung der einzelnen Punkte wird auch dies ausführlicher behandeln.

Ein Anhang enthält Beobachtungen an einem Passage-Instrument, in welchem zur Prüfung der Aberrations-Constante der Lichtstrahl eine lange Flüssigkeitssäule durchlaufen musste.

I.

Die durch die Bewegung der Erde verursachte optische Täuschung, oder die Bradley'sche Fixstern-Aberration.

Nehmen wir an, dass durch irgend-welche Veranlassung ein Strahl eines unendlich entfernten Objectes in die Richtung der Axe eines Fernrohrs gebracht wird und in dieser Richtung das Fernrohr mit einer Geschwindigkeit v' durchläuft, so würde ein Bild des Objectes mit dem Fadenkreuze zusammenfallen, wenn die Erde keine gegen diese Richtung senkrechte Bewegung hat, und wir würden dann *ohne Täuschung* sagen, dass die Richtung des Strahls mit der Fernrohraxe parallel sei. Hat dagegen die Erde eine Bewegung senkrecht zu der Axe, der die Geschwindigkeit g entsprechen möge, so entfernt sich während der Zeit t , welche der Strahl gebraucht, die Länge des Fernrohrs bis zur Fadenebene zu durchlaufen, das Fadenkreuz um die Grösse gt von dem Punkte der Fadenebene, wo das Bild zu Stande kommt. Unser unmittelbares Urtheil schreibt also dann irriger Weise dem Strahl eine von seiner wirklichen verschiedene Richtung zu, weil wir das Bild nicht im Fadenkreuz erblicken. Die Grösse, um welche scheinbar die Richtung des Strahls von der Fernrohraxe verschieden ist, drückt sich offenbar durch $\frac{g}{v'}$ aus, wobei wir diesen kleinen Bogen mit seiner Tangente gleich gesetzt haben. Diese Täuschung ist das, was man nach Bradley und in der Emissionstheorie unter Aberration der Fixsterne zu verstehen pflegte und zweckmässigerweise auch nach der Einführung der Wellentheorie noch allein unter dieser Benennung verstehen sollte. Wirft man, wie häufig geschieht, mit der Aberration auch noch

die wirklichen Richtungsveränderungen zusammen, welche als Folge der Erdbewegung und der Strömungen des Aethers anzunehmen sind, so erschwert man sich die Untersuchung selbst der einfachsten Fälle ganz ausserordentlich. Setzen wir dagegen vorläufig ganz bei Seite, durch welche Ursachen der Strahl im Fernrohre seine wirkliche Richtung und die Geschwindigkeit der Fortpflanzung v' angenommen hat, so können wir die obige Betrachtungsweise für das Entstehen der Täuschung, von Gauss in der *Theoria motus corporum coelestium*, also zu einer Zeit, wo noch die Emissionstheorie ihre Herrschaft behauptete, eingeführt, ohne Weiteres auf die Wellentheorie übertragen. Denn wir wissen in der Wellentheorie um nichts weniger, als in der Emissionstheorie, was wir unter der *Richtung* eines Strahles zu verstehen haben. Wir wissen, dass dies stets die Normale zu der Wellenoberfläche, hier Wellenebene, ist, welche die Aethertheilchen gleicher Phase verbindet. Ebenso wenig ist dem Begriffe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ein Mangel an Klarheit vorzuwerfen; die Betrachtung büsst also gegen früher nichts an Präcision und Strenge ein, es sei denn, dass Jemand den Nachweis vermisste, dass unter dem Einflusse der Erdbewegung und aller möglichen Strömungen des Aethers Wellenebenen und desgleichen regelmässig gestaltete Wellen-Oberflächen im Fernrohre überhaupt noch möglich sind, welchen Nachweis wir ohne die Integration der *allgemeinsten* Gleichungen der Aetherbewegungen allerdings nicht zu führen vermögen. Wir schliessen die Möglichkeit dieser Regelmässigkeit trotz der Nachbarschaft der Erde aus der fortlaufenden Erfahrung; können überhaupt hier den Anforderungen einer unfruchtbaren Hyperkritik keine Rechnung tragen.

Wir finden nun also, die Gauss'sche Betrachtungsweise wählend, das Gesetz, nach welchem jere optische Täuschung oder der physiologische Theil der Aberration sich richtet, wobei wir zunächst den gewöhnlichen Fall im Auge haben, bei welchem v' , die Geschwindigkeit der Wellen im Innern des Fernrohres, von deren Geschwindigkeit im Weltenraum v nicht verschieden ist. In diesem *einfachsten* Falle ist der scheinbare innere Strahl äusserst nahe die geradlinige ungebrochene Fortsetzung des scheinbaren äusseren, zwischen Object und

Objectiv liegenden Theils, und deshalb entspricht der Bogen $\frac{g}{v'}$ oder $\frac{g}{v}$ zugleich demjenigen Winkel, um welchen die Fernrohraxe oder das ganze Fernrohr gedreht werden muss, um das Bild des Objectes in das Fadenkreuz zu bringen, d. h. der zu *messenden* Aberration, mit welcher letzteren wir es in der Astronomie stets zu thun haben. Falls v' , die Geschwindigkeit des Lichtes im Innern, d. h. zwischen dem Objectiv (dessen Wirkung wir hier vorläufig ausser Acht lassen können) und den Fäden, von der Geschwindigkeit v zwischen Object und Objectiv verschieden wäre, so würden auch jene beiden, die äussere und die innere Richtung des scheinbaren Strahles, wegen der beim Uebergange in das innere Mittel erfolgenden Brechung, nicht mehr parallel sein. Es sei α der kleine Winkel, welchen scheinbar der *äussere* Strahl mit der Axe des Fernrohrs macht, oder die zu *messende* Aberration, α' der Winkel, welcher von der Richtung des Strahles im Innern scheinbar mit der Axe gebildet wird, so ist offenbar

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} = \frac{v}{v'} = n,$$

wenn dabei n den Brechungs-Index des innern Mittels gegen das äussere, kurzweg gegen den Weltenraum, vorstellt. Hinreichend nahe kann immer gesetzt werden

$$(A) \quad \dots \dots \alpha = n \alpha'$$

Es ist aber, wie oben gezeigt wurde, $\alpha' = \frac{g}{v'} = \frac{g n}{v}$, demnach

$$(B) \quad \dots \dots \alpha = n^2 \frac{g}{v}$$

Man sieht daraus, dass wenn das Fernrohr in der Länge seiner Brennweite mit einem Mittel angefüllt wäre, dem der Brechungs-Index n zukommt, die zu messende Aberration dadurch im Verhältnisse von n^2 zu 1 vergrössert würde. Das Auftreten des Quadrates von n ist die Folge von der in der *Wellentheorie* geltenden Relation

$$v' = \frac{v}{n}$$

während im sehr wesentlichen Gegensatze hierzu die *Emissionstheorie* dem stärker brechenden Medium eine grössere Geschwindigkeit des Strahls zuschrieb und, statt wie oben, setzte:

$$v' = n v.$$

Nach der Emissionstheorie würde man also weiter haben

$$\alpha' = \frac{g}{v'} = \frac{g}{nv} ; \quad \alpha = n\alpha' = \frac{g}{v} ,$$

und es würde in dieser letzteren deshalb die Aberration unabhängig vom Instrument sein. Völlig anders, wie wir sahen, verlangte es die Wellentheorie, deshalb mussten Diejenigen, welche mit und nach Fresnel auch für letztere das ältere und einfachere Gesetz gewahrt wissen wollten, noch einen besonderen Vorgang annehmen, welcher die Wirkung der grösseren Dichtigkeit des inneren Mittels auf die Aberration compensirt. Fresnel schrieb der translatorischen Bewegung des Aethers im Innern des Fernrohrs eine solche Wirkung zu. Von den Hypothesen, welche in dieser Beziehung von ihm aufgestellt wurden, hat allerdings die erste eine grosse Wahrscheinlichkeit für sich. Sie ist in Uebereinstimmung mit dem bekannten Experimente von Fizeau über die Verschiebung der Diffractionsfransen, welche durch fliessendes Wasser hervorgebracht wird. Was aber die nach ihnen erwarteten Einwirkungen auf die *Richtung* eines Strahles betrifft, so wird weiter unten gezeigt werden, dass sie dergleichen nicht ausüben kann, dass also nach der Wellentheorie wirklich eine Abhängigkeit der Aberrations-Constante von den Mitteln des Instrumentes bestehen bleiben muss, sowie denn auch alle sicheren Bestimmungen der Aberration und eine Erfahrung neuesten Datums ziemlich deutlich für solche Abhängigkeit sprechen.

Auch das Objectiv übt, wenn es auch nicht, wie eine im Innern des Rohrs angebrachte Flüssigkeitssäule, die Gleichheit der scheinbaren Richtung des innern Strahls mit der äussern aufhebt, vielmehr unter Zugrundelegung der Gauss'schen Lehre von den Hauptpunkten einer Linse, beide Richtungen parallel lässt, dennoch in Folge des Umstandes, dass das Licht den Weg durch eine Glasschicht langsamer zurücklegt, als durch Luft oder durch den leeren Raum, eine kleine modificirende Wirkung auf die Aberration aus. Dieselbe lässt sich, ihrer Kleinheit ungeachtet, aus den zahlreichen Beobachtungen des *Polaris* und anderer Fixsterne, welche die neuere Astronomie zum Zweck der Ermittlung der Constante der Aberration angestellt hat, recht gut nachweisen. Aus

der genannten Ursache muss auch ein Prisma mit Totalreflexion, wie man sie in transportablen Passage-Instrumenten regelmässig zur Anwendung bringt, einen Einfluss äussern, und zwar einen recht bedeutenden, der eigentlich bei keiner Reduction, welche auf Schärfe Anspruch macht, vernachlässigt werden dürfte.

II.

Nachweis aus den Beobachtungen, dass durch die Erdbewegung auch die wahre Richtung eines gespiegelten oder gebrochenen Strahles geändert wird.

In dem Vorgehenden haben wir gesehen, dass über die Richtung eines von einem unendlich entfernten Objecte kommenden Strahles im Innern des Fernrohrs (welche letztere Richtung stets als die für die unmittelbare Messung entscheidende Schlussrichtung anzusehen ist) eine *Täuschung* stattfindet, wenn die Erde eine Bewegung senkrecht zu dieser Richtung hat. Es ist diese physiologische Wirkung durchaus nicht mit den *wirklichen* Richtungs-Änderungen zu verwechseln, welche die Bewegung der Erde ausserdem noch hervorbringt, wenn der Strahl durch Spiegelung oder Brechung abgelenkt wird, und welche sich durch die folgende Discussion nachweisen lassen. Die Fälle, in welchen der Strahl erst durch eine Spiegelung in das, mit einem Messapparate verbundene, Fernrohr gebracht wird, gehören zu den alltäglichen der praktischen Astronomie. Nehmen wir als erstes und zugleich einfachstes Beispiel eine Sextanten-Messung des Abstandes zweier Sterne A und B. Wir richten das Fernrohr auf A und bringen dann durch Spiegelung das Bild von B ebenfalls in das Fadenkreuz; mit andern Worten, wir geben den Strahlen beider Sterne eine *gemeinschaftliche Schlussrichtung*. Wir haben deshalb auch nach der Deduction des I. Abschnitts eine *gemeinschaftliche*, d. h. *gleiche* Aberration beider Strahlen, und müssten demgemäss die Beobachtungen mit gleicher Correction, und zwar mit der Aberration von A reduciren, wenn wir rationell verfahren wollen. Es wird aber, wie jeder Astro-

nom weiss, so reducirt, als hätte man den directen Strahl von B im Fernrohr aufgefangen. Für dies Verfahren hat die praktische Astronomie als Rechtfertigung nur die Erfahrung, welche lehrt, dass dennoch Richtiges erhalten wird. Es wird also die offenbare Incorrectheit des Verfahrens durch eine andere Wirkung unschädlich gemacht, und diese andere Wirkung besteht in dem Einflusse der Erdbewegung auf die Richtung des gespiegelten Strahls. Hiernach berechtigen die Sextanten-Messungen zu der Folgerung:

dass ein Einfluss der Bewegung der Erde auf die Spiegelung vorhanden und dass die Lage des gespiegelten Strahls durch dieselbe um ebensoviel geändert wird, als die Aberration durch die Spiegelung geändert wird, aber im entgegengesetzten Sinne.

Die Grössen, um welche es sich hier handelt, sind sehr erheblich und entziehen sich daher weder dem Sextanten, bei welchem die Aberration des abgelenkten Strahls gegen 30'' von der des directen verschieden sein kann, noch viel weniger anderen vollkommenern Instrumenten, welche auf dem Principe der Spiegelung beruhen. Indessen noch unzweideutiger erhellt die Richtigkeit des eben aufgestellten Satzes aus den Beobachtungen an Passage- und Universal-Instrumenten mit gebrochener Axe. Hier ist die Ablenkung, welche der directe Strahl durch die Totalreflexion des in der Axe des Fernrohrs angebrachten Prisma erfährt, stets 90°. Kommt dem directen Strahl das Maximum der Aberration zu, so wird die Täuschung über die Schlussrichtung, in welcher die Fäden passirt werden, gleich Null, und umgekehrt. Bei der herkömmlichen Reductionsmethode rechnen wir stets mit der Aberration des directen Strahls, statt mit der Aberration der darauf senkrechten Schlussrichtung. Dessenungeachtet wird das Resultat der Beobachtung richtig gefunden, in Folge der angegebenen Wirkung auf die wahre Richtung des abgelenkten Strahls, welche die Incorrectheit unsers Verfahrens unschädlich macht. Um noch ein anderes Beispiel anzuführen: eine der gewöhnlichsten Operationen, wobei zugleich meist ein sehr hoher Grad von Genauigkeit erstrebt und erreicht wird, ist die Beobachtung des vom Quecksilberhorizont reflectirten Strahles. Im Allgemeinen wird die Aberration des directen Strahles von der des reflectirten oder

seiner Schlussrichtung sehr merklich verschieden sein. Auch hier wieder würde die rationelle Reduction der Aberration verlangen, die der Schlussrichtung anzubringen. Wenn wir, bekanntlich anders verfahrend, doch zu einem richtigen Resultate für die Lage der Spiegelnormale gelangen, so liegt der Grund auch hier darin, dass wir mit der Vernachlässigung des Einflusses der Erdbewegung auf die wahre Richtung des gespiegelten Strahls einen Fehler von gerade entgegengesetztem Einflusse begehen.

Ein specieller Fall macht dies noch deutlicher; es falle die Richtung des directen Strahls mit der der Erdbewegung zusammen, der reflectirte Strahl stehe senkrecht dagegen. Dem directen Strahl würde demnach die Aberration Null zukommen, in Beziehung auf die Richtung des reflectirten hingegen eine Aberration oder Täuschung von circa 20'' vorkommen, um welche Grösse offenbar diese letztere Richtung gegen die der Spiegelnormale oder des Zeniths verändert erscheint. Man müsste also erwarten, dass nach der gewöhnlichen Reductionsmethode, bei welcher nur die Aberration des directen Strahles berücksichtigt wird, die Lage der Spiegelnormale um 10'' falsch gefunden wird. Dass dies demungeachtet nicht der Fall, hat den oben angegebenen Grund.

Die summarische Behandlung der Aberration, auf welche schon Fresnel bei Gelegenheit der ersten wesentlich richtigen Interpretation des unten zu erwähnenden Arago'schen Experimentes aufmerksam gemacht hat, veranlasst auch die hier und da geäußerte Meinung, man könne das im Falle der Spiegelung oder Brechung, z. B. beim Falle der Anwendung des künstlichen Horizonts auftretende Dilemma in Betreff der Aberration, einfach dadurch entscheiden, dass man den Horizont mit dem Fernrohr in Verbindung denkt. Diese Fiction ist offenbar erlaubt; es ist aber nicht erlaubt zu schliessen, dass die Aberration nun selbstverständlich wie gewöhnlich zu reduciren sei, weil man es nun mit einem einzigen Fernrohr, von nur etwas anderer Construction, als gewöhnlich, zu thun habe. Man übersieht dabei, dass dieser Apparat zwei verschiedene optische Axen hat; durch ein blosses Ignoriren dieses Umstandes kann die Frage, für welche von beiden man die Aberration zu rechnen hat, nicht entschieden werden.

Bei der Brechung liegt ebenfalls die Erfahrung vor, von Arago zuerst gemacht, dass die durch ein achromatisches Prisma angestellten Fixstern-Beobachtungen richtige Oerter liefern, wenn man die Täuschung oder die Aberration berechnet, als wäre sie in dem directen Strahle vorgefallen. Dies ist offenbar in Betreff der Statt findenden Täuschung eine fehlerhafte Reduction, da ja nur die Schlussrichtung eines Strahles der Täuschung unterliegen kann. Der Umstand, dass dessenungeachtet richtige Oerter erhalten werden, zeigt unwiderleglich, dass die Bewegung der Erde auch hier, ausser der Täuschung, noch eine wirkliche Variation in der Brechung verursacht und dass diese Variation sich mit der scheinbaren Wirkung compensirt. Es ist nur sehr zu bedauern, dass diese so wichtigen Beobachtungen Arago's, soviel dem Verfasser bekannt, nirgends veröffentlicht worden sind, woher sich denn auch erklären mag, dass von verschiedenen Autoren verschieden über die Anordnung dieser Versuche referirt wird. Wir wollen deshalb Arago selbst die Veranlassung zu dem Versuche, das allgemeine Arrangement zu demselben und das Resultat anführen lassen, wie dies in der Gedächtnissrede auf Fresnel geschieht:

„Il existe un moyen très-simple d'altérer notablement, si non
 „la vitesse absolue d'un rayon, au moins sa vitesse relative;
 „c'est de l'observer pendant sa course annuelle, quand la terre
 „se dirige soit vers l'astre d'où ce rayon émane, soit vers la
 „région diamétralement opposée. Dans le premier cas, c'est
 „comme si la vitesse du rayon se trouvait accrue de toute celle
 „de notre globe; dans le second, le changement a numérique-
 „ment la même valeur, mais la vitesse primitive est diminuée.
 „Or, personne n'ignore que la vitesse de translation de la terre
 „est comparable à celle de la lumière, qu'elle en est la dix-
 „millième partie. Observer d'abord une étoile vers laquelle la
 „terre marche et ensuite une étoile que la terre fuit, c'est avoir
 „opéré sur des rayons dont les vitesses diffèrent entre elles de
 „un cinq-millième. De tels rayons doivent être inégalement
 „réfractés. La théorie de l'émission fournit les moyens de dire
 „en nombres à combien l'inégalité s'élèvera, et l'on peut voir
 „ainsi qu'elle est fort supérieure aux petites erreurs des obser-
 „vations. Eh bien, des mesures précises ont complètement dé-

„menti le calcul: les rayons émanés de toutes les étoiles, dans quelque région qu'elles soient situées, éprouvent précisément la même réfraction.“

Dieselben Beobachtungen werden auch in dem sehr empfehlenswerthen Buche von Hoek, *Recherches astronomiques de l'observatoire d'Utrecht, première livraison (de l'influence des mouvements de la terre sur les phénomènes fondamentaux de l'optique dont se sert l'astronomie)*, daselbst pag. 36 beschrieben. Die Beobachtungen selbst aufzufinden, ist dem Verfasser dieses nie gelungen, und die Nachforschungen Anderer scheinen in der Beziehung nicht glücklicher ausgefallen zu sein. Das Resultat jener Beobachtungen, soweit es nämlich nur aussagt, dass die Brechung von der Erdbewegung nicht direct wahrnehmbar afficirt ist, hat der Verfasser durch *eigene* Beobachtungen, welche mit den Arago'schen einige Aehnlichkeit haben, bestätigt gesehen. Da jedoch der Zweck dabei ein ganz anderer war, als den Einfluss der Bewegung der Erde zu studiren, so ist ein Schluss aus ihnen weniger zwingend, als aus den *nur* in der genannten Rücksicht angestellten Versuchen Arago's; ihre Veröffentlichung wird indessen bei passender Gelegenheit erfolgen.

III.

Ueber den Einfluss der Bewegung der Scheidewand zweier Medien.

Es kann zuweilen von grossem Nutzen sein, die Vorgänge zu untersuchen, welche in einem abstracten, von der Natur selbst niemals zu bietenden Falle nach einer bestimmten Theorie zu erwarten wären; denn es zeigt sich sehr häufig, dass die natürliche und eine abstracte Anordnung eine gleiche Wirkung hervorbringen. Ein Beispiel dieser Art bietet der wichtige Satz der Attractionslehre oder der Lehre vom Potential, welcher ausspricht, dass zwei homogene Kugeln sich so anziehen, als wenn ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre. Der Fall, mit dem verglichen wird, ist offenbar ein abstracter, da in der Natur unendlich kleine Volumina

mit endlicher Masse, also Körper von unendlich grosser Dichtigkeit nicht vorkommen. In den Anwendungen der Lehre vom Potential wird bekanntlich auch noch bewiesen, dass man stets eine Vertheilung des Magnetismus an der Oberfläche eines Magneten finden kann, welche die Wirkung nach Aussen vollständig ersetzt, und so liessen sich wohl noch manche Beispiele anführen, wo die Vergleichung der Natur mit einer Abstraction, wenn man will, mit einer Fiction, grossen Vortheil gewährt. In ähnlicher Weise nehmen wir denn auch hier an, es könne die Scheidewand zweier Mittel so bewegt werden, dass dadurch die Wellenbildung in beiden Mitteln gar nicht alterirt wird, eine jede Wellenebene oder Fläche gleicher Phase in beiden Mitteln im *Raume* dieselbe, nur durch Bewegung der Scheidewand direct afficirte, Lage behält und sich ungestört bis zu der, im Allgemeinen zu derselben geneigten Scheidewand fortsetzen kann. Es giebt sogar einen speciellen Fall, einen Gränzfall, wo die Natur selbst diese Möglichkeit gewährt, wenn nämlich die beiden Mittel an Dichtigkeit unendlich nahe gleich werden. Sind die beiden Medien in der Beziehung verschieden, so ist in Wirklichkeit eine solche Bewegung der trennenden Fläche auch von translatorischer Bewegung des Aethers begleitet. Durch die Wahl des Ausdrucks Scheidewand, statt spiegelnde oder brechende Fläche, wollen wir eben die Forderung andeuten, man solle von solchen physischen Folgen abstrahiren und der Ebene, bis zu welcher sich die Wellen beider Medien fortsetzen, eine zu verschiedenen Zeiten verschiedene Lage, mit anderen Worten eine mit sich parallele Verschiebung ertheilen. Erfolgt solche in der Richtung des Fortschreitens der Welle, so ist klar, dass die Geschwindigkeit der Welle in derselben Richtung *relativ* zur Scheidewand verringert wird. Ueberhaupt wird diese *relative* Geschwindigkeit der Wellen gegen die Scheidewand verringert werden um die in diese Richtung fallende Componente der Bewegung der Scheidewand, eine Grösse, welche natürlich wegen der Verschiedenheit der Richtungen des Strahles, in beiden Mitteln selbst verschieden ist. Die Brechung, welche eine Welle homogenen Lichtes an der Scheidewand zweier Mittel erleidet, und desgleichen die Spiegelung hängt eben von den Geschwindigkeiten der Wellen gegen die Scheide-

wand ab. Es sei φ der Winkel, welchen die Wellenebene in dem einen Mittel, in welchem die Welle mit der absoluten Geschwindigkeit fortschreitet, mit der Scheidewand bildet, φ' der Winkel zwischen Wellenebene und Scheidewand in dem zweiten Mittel, für welches wir die absolute Geschwindigkeit der Wellen-Verbreitung gleich v' setzen. Wäre die Scheidewand in Ruhe, so würden v und v' zugleich die Geschwindigkeiten gegen die Scheidewand sein, und man würde die bekannte Relation haben

$$\frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} = \frac{v'}{v}$$

aus welcher sich der Winkel φ' bestimmt, wenn wir φ als gegeben betrachten. Hat dagegen die Scheidungsfläche eine der Erde gleiche Bewegung g , welche gegen die Richtung des Strahls gehend mit der Normale zu dieser Fläche den Winkel N bildet, so wird der für das zweite Mittel zu suchende Winkel, nicht mehr wie im Falle der Ruhe sein; man wird vielmehr nach dem Vorhergehenden haben

$$1. \quad \frac{\sin (\varphi' + \delta \varphi')}{\sin \varphi} = \frac{v' + g \cos (N - \varphi' - \delta \varphi')}{v + g \cos (N - \varphi)}$$

wobei $\delta \varphi'$ die durch die Bewegung der Scheidewand hervorbrachte und stets als sehr kleine Grösse der ersten Ordnung zu behandelnde Variation bedeutet, welche die Folge der Bewegung der Scheidewand ist.

Eine ähnliche, aber einfachere Formel erhält man für die Variation der Spiegelung. Man kann sich deren besondere Ableitung ersparen, oder das eben Gesagte sogleich sehr kurz in Anwendung bringen, wenn man bemerkt, dass die Spiegelung als ein specieller Fall der Brechung betrachtet werden kann, bei welchem die Lichtgeschwindigkeit im zweiten Mittel v' negativ und gleich $-v$ wird. Die Spiegelungsformel für den Fall der ruhenden Scheidewand würde demnach sich auch schreiben lassen:

$$\frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} = \frac{-v}{v} = -1.$$

Sie liefert den Winkel φ' im vierten Quadranten der Natur des Falls gemäss. Unter dem Einflusse der angegebenen Bewegung der Scheidewand hingegen wird man erhalten

$$\frac{\sin (\varphi' + \delta \varphi')}{\sin \varphi} = \frac{-v + g \cos (N - \varphi' - \delta \varphi')}{v + g \cos (N - \varphi)}$$

oder, wenn φ' , wie gewöhnlich zur bessern Uebersicht geschieht, mit φ symmetrisch vom Einfallslothe an gezählt wird und gleich alle Glieder höherer Ordnung weggelassen werden

$$2. \quad \frac{\sin(\varphi' + \delta\varphi')}{\sin \varphi} = \frac{v - g \cos(N + \varphi)}{v + g \cos(N - \varphi)} = \frac{1 - \frac{g}{v} \cos(N + \varphi)}{1 + \frac{g}{v} \cos(N - \varphi)}$$

Die durch Bewegung der spiegelnden Fläche veranlasste Variation $\delta\varphi'$ wird hiernach

$$3. \quad \delta\varphi' = -\frac{g}{v} [\cos(N - \varphi) + \cos(N + \varphi)] \tan \varphi \\ = -\frac{2g}{v} \cos N \sin \varphi$$

Von dieser Grösse lässt sich nun leicht zeigen, dass sie dem Unterschiede der Aberrationen der für den directen Strahl, weniger der für den reflectirten Strahl, gleich ist. Denn es ist die erstere offenbar gleich $\frac{g}{v} \sin(N - \varphi)$, die letztere gleich $\frac{g}{v} \sin(N + \varphi)$, und der genannte Unterschied wird ebenfalls gleich

$$-\frac{2g}{v} \cos N \sin \varphi,$$

wie bewiesen werden sollte.

Unter Berücksichtigung der Zählungsweise für φ' folgt also gerade dieselbe Compensation zwischen *physischer* und *physiologischer* Aberration, welche wir im vorigen Abschnitt als das unzweideutigste Resultat astronomischer Erfahrungen kennen lernten, aus der Annahme, dass die spiegelnde Fläche ohne Hervorbringung translatorischer Bewegungen des Aethers von der Erde mitgeführt werden könne und wenn man unter dieser Voraussetzung die Lage des reflectirten Strahles aus der natürlich vollständig gegebenen Richtung des directen herleitet. Dass in der Natur die Bewegung der Scheidungsflächen zweier Mittel von verschiedener Dichtigkeit unter solchen Umständen nicht möglich ist, thut dem Werthe und der Brauchbarkeit des eben Gefundenen keinen Eintrag, wie wir in der Folge sehen werden.

Im vorigen Abschnitte schon, bei der vorläufigen Betrachtung eines im Innern mit Flüssigkeit angefüllten Diopters oder auch Fernrohrs, hatten wir Gelegenheit, auf den Unterschied

zwischen der scheinbaren Ablenkung von der Richtung des Strahls in einem Mittel, wie ihn ein in solches Mittel gestelltes Auge wahrnehmen würde, von derjenigen Aberration, welche man an dem Instrumente messen würde, aufmerksam zu machen. Es war die zu messende Aberration der Winkel, um welchen das Instrument gedreht werden musste, um von der Einstellung auf den scheinbaren Strahl zu der auf den wahren Strahl zu gelangen. Für den zu führenden Beweis, dass auch bei jeder Brechung, welche der directe Strahl erleidet, die Variation der Aberration der Variation der Brechung mit entgegengesetztem Zeichen gleich ist, haben wir stets streng auf diesen Unterschied zu achten. Es bezieht sich unser Satz gerade auf die zu messenden Aberrationen und wird dabei vorausgesetzt, dass seine zu messende Schlussrichtung wieder ein Medium von derselben Dichtigkeit, wie das des directen Strahles durchläuft. Mit andern Worten, es wird vorausgesetzt, dass die Aberration des gebrochenen Strahls an seiner in das erstere Mittel und nach dem Objecte zu gerichteten Verlängerung, also nahe in der Richtung des directen Strahles gemessen würde. Während für die Aberration des directen Strahles der angegebene Unterschied wegfällt, muss dagegen die scheinbare Aberration des gebrochenen Strahles jedesmal durch Multiplication mit dem Factor

$$\text{tang } \varphi' \text{ contang } \varphi$$

auf die zu *messende* reducirt werden. Denn unter Beibehaltung der oben gewählten Bezeichnung ist dieser Factor das Verhältniss zugehöriger Incremente $\frac{d\varphi'}{d\varphi}$, wie es der Relation

$$\frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} = \frac{v'}{v}, \text{ also } d \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi} = 0 \text{ entspricht.}$$

Offenbar erhält man auf die angegebene Art die Drehung, welche das Instrument bedarf, um ein, in der Richtung des directen Strahls angebrachtes, Fadenkreuz von dem *scheinbaren* rückwärts gebrochenen Strahl auf den *wahren* rückwärts gebrochenen zu führen.

Die Aberration der verschiedenen Wege des Strahls so präcisirt, gilt nun der vorhin aufgestellte Satz nicht bloss für jeden einzelnen Uebergang in ein anderes Mittel, sondern auch für jede Wiederholung dieses Vorganges, also auch noch,

wenn der Strahl durch ein Prisma von beliebiger Zusammensetzung abgelenkt worden ist. Er entspricht damit zugleich vollkommen der Erfahrung, welche in dieser Hinsicht gemacht worden ist, und welche sich ebenfalls durchaus nur auf die zu messende Aberration beziehen konnte.

Man kann auch noch die allgemeine Bemerkung machen, dass die zu messende Aberration grösser ist, als die scheinbare, wenn das Fadenkreuz und die Axe des Messapparates in das dichtere Medium fällt, dagegen kleiner, wenn diese Axe in dem dünneren Mittel liegt.

Die Gleichung 1 ergibt ohne Mühe, immer unter Vernachlässigung der höhern Potenzen der sehr kleinen Grössen $\frac{g}{v}$ und $\frac{g}{v'}$ Folgendes:

$$4. \quad \delta \varphi' = \frac{g}{v'} \frac{\sin \varphi'}{\cos \varphi'} \cdot \cos (N - \varphi') - \frac{g}{v} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos (N - \varphi)$$

Dieser Ausdruck für die durch die Erdbewegung erlittene Variation der Brechung $\delta \varphi'$ lässt sich weiter so umformen:

$$\delta \varphi' = \frac{g}{v'} \sin \varphi' \cos N - \frac{g}{v} \frac{\cos N \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi'}{\cos \varphi'}$$

oder, hier für $\frac{\sin \varphi'}{v'}$ seinen Werth $\frac{\sin \varphi}{v}$ substituirt:

$$5. \quad \delta \varphi' = \frac{g}{v} \cdot \frac{\cos N}{\cos \varphi'} \cdot \sin (\varphi - \varphi')$$

Ist die Bewegung der Scheidewand zu ihrer Normalen senkrecht, oder fällt die Richtung der Erdbewegung in diese Scheidewand selbst hinein, so wird $N = 90^\circ$ und $\delta \varphi' = 0$. Es ist aber für denselben Fall die physiologische Aberration im brechenden Medium:

$$\frac{g}{v'} \cos \varphi' = \frac{g}{v'} \frac{v'}{v} \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} \cos \varphi' = \frac{g}{v} \cdot \frac{\sin \varphi \cos \varphi'}{\sin \varphi'}$$

Reduciren wir durch Multiplication mit $\cotang \varphi \tang \varphi'$ auf die zu messende Aberration, so wird diese gleich

$$\frac{g}{v} \cos \varphi$$

welches letztere offenbar die Aberration in der Richtung des directen Strahles ist. Der Unterschied beider Aberrationen ist also gleich Null.

Wird in der Gleichung 5, $N = 0$ gesetzt, also der Fall betrachtet, dass die Erde sich in der Normale selbst bewegt, so wird für diesen speciellen Fall

$$\delta \varphi' = \frac{g}{v} \frac{1}{\cos \varphi'} \cdot \sin (\varphi - \varphi')$$

Es hat aber dann die Richtung von φ' die Aberration

$$\frac{g}{v'} \sin \varphi' = \frac{g}{v} \sin \varphi;$$

diese ist wieder wie vorhin, mit dem Factor *cotang* φ *tang* φ' auf die zu messende Aberration zu reduciren; sie wird also

$$\frac{g}{v} \cos \varphi \tan \varphi'.$$

Die Aberration der Richtung von φ ist hingegen gleich

$$\frac{g}{v} \sin \varphi$$

und bedarf keiner Reduction. Wir haben also als Ausdruck für die betreffende Differenz:

$$\frac{g}{v} \cos \varphi \tan \varphi' - \frac{g}{v} \sin \varphi = - \frac{g}{v} \cdot \frac{1}{\cos \varphi'} \sin (\varphi - \varphi')$$

und dieselbe ist auch hier der Variation der Brechung mit entgegengesetztem Zeichen gleich.

Die Bewegung der Erde wird demnach in *jeder* Richtung den eben angegebenen Erfolg haben, da jede Bewegung nach den beiden auf einander senkrechten Richtungen zerlegt werden kann.

Dasselbe Resultat lässt sich ohne Weiteres auch auf die zweite Brechung in einem Prisma anwenden, bei welchem der Strahl aus dem dichteren Mittel wieder in das dünnere übertritt. Bezeichnen wir dann die Aberration in der Richtung des directen Strahles mit I, die des einmal gebrochenen mit II, die des zweimal gebrochenen Strahls, in welcher er das Prisma verlässt, mit III; so wird durch Vermittelung von II, III mit I verglichen werden können, welche Vergleichung dann für III—I dasselbe Resultat liefert, welches wir für II—I erhielten, ein Resultat, welches mit den Erfahrungen, darunter mit dem sogenannten Arago'schen Experiment, vollkommen übereinstimmt.

Der Leser sieht leicht, dass obwohl unser Beweis ohne Rücksicht auf die Dispersion, oder für homogenes Licht geführt worden ist, derselbe sich doch sogleich auf zusammengesetztes Licht und auf die Wirkung eines achromatischen Prisma übertragen lässt.

IV.

Einige Bemerkungen zu dem vorhergehenden Abschnitte und der daraus auf den Einfluss der translatorischen Bewegung des Aethers zu ziehende Schluss.

Der eben entwickelte, soviel dem Verfasser bekannt, hier zuerst in grösserer Allgemeinheit behandelte Satz von der Unveränderlichkeit der Summe der *physischen* und der *physiologischen* Aberration für jede Richtung, in welche der Strahl durch Spiegelung und durch Brechung gelangt, darf durchaus nicht mit einem andern, häufig bei gleicher Gelegenheit vorgebrachten Satze verwechselt werden, welcher ausspricht, die Aberration sei ganz unabhängig von den Mitteln, welche das Fernrohr erfüllen. Dieser letztere Satz ist nicht nur aus theoretischen Gründen, die wir unten entwickeln werden, ganz unannehmbar, es widerspricht ihm auch die Erfahrung; deshalb wollen wir durch einige Bemerkungen der Verwechslung der beiden Sätze vorbeugen. Bei dem ersteren, durch die Beobachtungen bestätigten Satze wird die, für die verschiedenen Richtungen, unveränderliche Summe der *physischen* und der *physiologischen* Aberrationen, welche Summe im Allgemeinen von Null verschieden ist, bestimmt durch die Lage der Axe, welche zum Messen dient, und ausserdem durch die Natur der brechenden Medien, welche sich in dieser Axe befinden. Jene Summe ist also zwar unveränderlich mit der Richtung, nicht aber auch in anderer Beziehung. Vorhin schon haben wir den Fall betrachtet, dass in der ganzen Länge der begrenzten messenden Axe eines Diopters mit Visiröffnung und Fadenkreuz oder auch eines Fernrohrs mit Fadenkreuz, eine Flüssigkeits-Säule vom Brechungs-Index n eingeschaltet sei; wir fanden die Aberration dadurch im Verhältniss von 1 zu n^2 vergrössert, und diese Vergrösserung würde für alle Richtungen gelten, welche wir bei solchem Arrangement dem Strahle durch Brechung oder Spiegelung geben mögen. Bei Arago's Experimente führte die Reduction mit der gewöhnlichen Aberrations-Constante und für den directen Strahl, statt für den abgelenkten, angewendet, *deshalb* zu einem richtigen

Resultate, weil die messende Axe in einem Mittel von dem Brechungs-Index 1 lag. Im andern Falle, wenn dieses Mittel eine grössere Dichtigkeit gehabt hätte, würde man eine grössere Aberrations-Constante haben in Anwendung bringen müssen.

Die Annahme über die translatorische Bewegung des Aethers, aus welchen die Formeln des vorhergehenden Abschnittes abgeleitet worden sind, entspricht gewiss nicht der Natur, und dennoch stimmt damit jede bisher gemachte Erfahrung ganz überein. Diese Wahrnehmung muss es uns nahe legen, zu untersuchen, ob nicht aus einem, der Natur der Wellentheorie zu entnehmenden, Grunde jede translatorische Bewegung des Aethers, welche die Ortsveränderung eines Körpers von einer, den Weltenraum übertreffenden Dichtigkeit begleiten muss, keine Wirkung auf die Richtung eines Strahls äussert, und nur die Bewegung der brechenden und spiegelnden Fläche selbst dabei eine Rolle spielt. In einem spätern Abschnitte werden wir zeigen, dass diese Neutralität der translatorischen, oder Entrainirungsbewegung des Aethers eine ganz nahe und durchaus nothwendige Folge eines Hauptgrundsatzes der Wellentheorie ist.

Jene Erfahrungen, welche die Einwirkung der Erdbewegung auf die Richtung des gebrochenen Strahles zeigen, bieten noch zu einer anderen nicht unwichtigen Bemerkung treffliche Gelegenheit. Durch Newton ist in die Optik der Fundamentalsatz eingeführt worden, dass bei gleichen brechenden Medien die Ablenkung eines Strahles oder seine Brechbarkeit an die Farbe gebunden sei. Man spricht deshalb von der Brechbarkeit des rothen Lichtes, oder des gelben, des violetten u. s. w. Dieselbe Relation ist von der Wellentheorie unverändert übernommen worden, nur unterscheidet die Wellentheorie die Farben auch nach den Schwingungszahlen und den Wellenlängen, welche im freien Aether oder im Weltenraume den verschiedenen Farben entsprechen. Den Newton'schen Satz von der Correspondenz zwischen Farbe und Brechbarkeit spricht deshalb die Wellentheorie auch in der Form aus, dass sie sagt, die Brechbarkeit eines Strahles sei an dessen Wellenlänge gebunden. Die Richtigkeit dieser Relation kann gewiss als über allen Zweifel erhaben gelten, so lange

nicht das Auge oder die Lichtquelle eine, gegen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts vergleichbare Geschwindigkeit besitzt. Doppler hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass durch eine jede der beiden Bewegungen die Farbe eines Strahls Aenderungen erleiden muss. Wenn das, hierbei ohne Brechung gedachte, auf einen Sehnerv reducirte Auge, der Lichtquelle genähert wird, so hat dies offenbar eine erhöhte Frequenz der dasselbe passirenden Wellen zur Folge; es scheint dem Auge die Schwingungsdauer kürzer zu sein, als im Falle der Ruhe, und es würde daher z. B. Roth in Orange verwandelt sehen. Ein Gleiches findet statt, wenn sich die Lichtquelle durch ihre Bewegung dem Auge nähert; denn es hat dann eine jede später von der Lichtquelle ausgegangene Welle einen kürzeren Weg zum Auge zurückzulegen, als jede der vorhergehenden. Die Epochen des Eintreffens dieser Wellen im Auge erscheinen also zusammengedrängt, die Frequenz der Wellen also auch in diesem Falle erhöht, mithin die Schwingungsdauer abgekürzt. Es ist also jetzt die für die Astronomie sehr interessante Frage aufzuwerfen: ist der Newton'sche Satz, welcher gewiss ohne alle Rücksicht auf solche Bewegungsverhältnisse aufgestellt ist, auch auf diejenige Farbe auszudehnen, welche unter der Mitwirkung der Bewegung resultirt? Wie man sieht, zerfällt diese Frage in zwei Theile; denn was von der Bewegung des Auges oder der Erde zu behaupten steht, braucht nicht nothwendig auch für die Lichtquelle stattzufinden. Den auf diese letztere bezüglichen Theil setzt Verfasser hier ganz bei Seite, um ihm, dem schwierigeren, demnächst eine besondere Abhandlung zu widmen.

Beschränken wir uns hier auf die Frage: ist es für die Wellenlänge eines farbigen Strahles ganz gleichgültig, ob die Farbe desselben unter Mitwirkung der Erdbewegung zu Stande kommt, oder nicht, und lässt sich darauf in jedem Falle der obige Satz der Newton'schen Optik anwenden?

Wollen wir dieselbe mit Hülfe einer Erfahrung beantworten, so liefert uns eben das Experiment Arago's das Material dazu. Was wir schon daraus geschlossen haben, ist, dass die Bewegung der Erde auf die Richtung des gebröchenen Strahls einen bedeutenden Einfluss ausübt, welcher von

derselben Ordnung, wie diejenige sehr merkliche Grösse ist, welche wir schlechthin Aberration nennen. Es bietet sich nun aber ferner folgende Betrachtung dar. Würde die Richtung des gebrochenen Strahls, der mit einer gewissen Farbe in unser Auge gelangt, auf eine von der Entstehungsart der Farbe ganz unabhängige Art, gemäss dem Newton'schen Satze, bestimmt, so ist leicht zu erkennen, dass die Richtung des gebrochenen Strahls durch die Erdbewegung durchaus nicht afficirt werden könnte. Denn der erst unter dem Einflusse der Bewegung als Roth erscheinende, vorher ultra-rothe Strahl, würde darnach ganz dieselbe Ablenkung, also Brechung haben, wie einem ursprünglich und ohne Bewegung rothem Lichte zukommen würde. Dasselbe lässt sich von jedem Theile des Spectrums sagen. Ist nun das Prisma, wie bei Arago's Versuche achromatisch, d. h. treten alle Farben in einer gemeinschaftlichen Richtung aus, so kann offenbar diese gemeinschaftliche Richtung ebenfalls nicht von derjenigen, welche ohne Bewegung statt gefunden hätte, verschieden sein; es würde keine Einwirkung der Erdbewegung auf die Brechung, weder direct, noch indirect, nachweisbar sein. Die Arago'sche Erfahrung lässt indessen unzweifelhaft auf eine solche schliessen, und es zeigt sich also, dass man den Newton'schen Satz durchaus nicht auf diejenigen Farben ausdehnen darf, bei deren Auftreten die Erdbewegung mitwirkt. Desgleichen hört die *gewöhnliche* Correspondenz zwischen Farbe und Wellenlänge auf, strenge Geltung zu haben. Man kann sich dies letztere aber auch noch ausserdem durch sehr einfache Betrachtungen klar machen.

Die Wellenlänge ist die Distanz zweier Aethertheilchen im Strahle, welche sich in gleicher Phase befinden; das den Licht- und Farbeindruck lediglich *empfangende*, also *passive*, Auge, wird offenbar Nichts an der Distanz der Aethertheilchen von gleicher Phase ändern können. Oder aber, nach einer damit verwandten Betrachtungsweise, denke man sich eine Scheidewand zwischen zwei gleich dichten Medien, wenn man will, eine durch den freien Aether des Weltenraums selbst gelegte Ebene, zu welcher der Strahl senkrecht sein soll, in Bewegung. Eine solche Bewegung erfordert offenbar keine Entrainirung, welche unser Urtheil erschweren würde, wir können

deshalb sagen, dass der Strahl für ein hinter dieser Scheidewand befindliches, mit derselben bewegtes Auge, nicht mehr seine ursprüngliche Farbe hat, da die *Frequenz* der Wellen in der Scheidewand und für das Auge eine andere ist, als im Zustande der Ruhe. Dennoch wird die Wellenlänge ungeändert sein. Man denke sich auch noch eine grosse Anzahl mit wellenförmigen Erhöhungen versehener Platten hergestellt, wobei das Intervall der Wellen der Wellenlänge der verschiedenen Lichtsorten entsprechen soll. Werden diese Platten, eine nach der anderen, unter einem absolut ruhenden Stifte mit einer für alle gleichen Geschwindigkeit hergezogen, so dass ein Ton entsteht, so wird man offenbar aus der Höhe desselben und aus der bekannten Geschwindigkeit, mit welcher man die Platten unter dem Stifte hergleiten liess, auf das Intervall der Wellen auf jeder Platte schliessen können. Dies ist ganz derselbe Schluss, wie der in der Optik so gebräuchliche von der Farbe auf die Wellenlänge. Er ist aber nur zulässig, so lange der Stift, in der Optik die Erde, nicht selbst eine Bewegung hat. Denn offenbar wird diese letztere Bewegung auf die Höhe des Tons Einfluss haben, ohne indessen im Geringsten die Intervalle der Wellen zu ändern.

Wir gelangen nach den vorhergehenden Betrachtungen zu dem Schluss, dass auf die, unter Mitwirkung der Bewegung der Erde, entstehenden Farben der Newton'sche Grundsatz: gleiche Farbe, gleiche Brechung, oder der äquivalente Grundsatz der Wellentheorie: gleiche Farbe, gleiche Wellenlänge, nicht ausgedehnt werden darf. Es kann aber die Incorrectheit bei Messungen am Sonnenspectrum nicht merklich werden, weil die Erdbahn bekanntlich beinahe kreisförmig ist, die Erde also fast immer denselben Abstand von der Sonne beibehält.

Diejenigen, welche jenen alten Grundsatz als ein keine Ausnahme zulassendes Axiom betrachten, gleichsam als einen Satz, mit welchem die Wellentheorie selbst steht und fällt, gerathen in die fühlbarste Verlegenheit, wenn sie das in dem Arago'schen Experimente liegende Factum erklären sollen. So sagt z. B. Billet (*Traité d'optique physique, tome premier, pag. 85.*)

„Mouvement de l'oeil.

„Relativement à la couleur, les resultats sont analogues aux précédents. Il y a cependant cette différence déjà signalée

„(§. 41), que les longueurs des ondes extérieures à l'oeil ne
„sont plus modifiées, et il devient nécessaire de décider d'abord
„de laquelle de ces deux circonstances, le nombre des ondes
„ou leur longueur extérieure, dépend la couleur. On peut ré-
„soudre cette difficulté autrement que par l'expérience. En effet,
„ce n'est pas des ondes extérieures, mais de celles intérieures
„formées dans l'humeur vitrée, qu'il faut se préoccuper; or le
„mouvement de l'oeil influe sur la longueur de ces dernières
„ondes. Mais il arrive que, quand elles deviennent plus nom-
„breuses, elles sont en même temps raccourcies, et l'optique
„n'offre pas sur ce point la même division, que l'acoustique.
„On n'oubliera pas, d'ailleurs, que l'influence du mouvement de
„l'oeil est différente est moins active que la précédente. Quant
„à l'influence sur la direction, nous l'avons suffisamment étudiée
„sous le nom d'aberration.“

Auch hier begegnen wir also wieder der Vorstellung, dass unter allen Umständen, so oft die wahrzunehmende Farbe einer grösseren Schwingungszahl entspricht, die Wellenlänge verkürzt sein muss. Unter dieser Vorstellung muss nun die darauf (im folgenden §. des Buches) versuchte Erklärung des Arago'schen Experiments nothwendig sehr leiden.

Sehen wir den so allgemein gewordenen Grundsatz: Gleiche Farbe, gleiche Wellenlänge, — gleiche Wellenlänge, gleiche Brechung, mit dem Ergebniss Arago's in einem radicalen und deshalb auf keine Weise zu beseitigenden Widerspruche, so zeigt sich dagegen unsere Ansicht, wonach die der Erdbewegung entspringende Aenderung der Farbe eine Aenderung der Wellenlänge *nicht* nach sich zieht, mit der dadurch gewonnenen Erfahrung in vollem Einklange. Denn bei Vergrösserung der Schwingungszahl die grössere Wellenlänge der geringeren Schwingungszahl beibehalten, heisst nichts Anderes, als den Wellen eine veränderte Geschwindigkeit gegen die Scheidewand zuschreiben, und der Leser kann sich leicht überzeugen, dass die Aenderungen dieselben werden, welche schon den Formeln der vorigen Paragraphen zu Grunde gelegt sind. Jene Formeln sind aber mit Arago's Experiment ganz in Uebereinstimmung.

V.

Die Fresnel'schen Hypothesen und ihre Rolle in der Aberrationslehre.

Die Fresnel'sche Theorie der Aberration, welche auf die Ansichten der Astronomie über Fragen der Aberrationstheorie den grössten Einfluss ausgeübt hat, findet man in dem 9. Bande der *Annales de Chimie et de Physique*, in einem Briefe Fresnel's an Arago entwickelt. Wir wollen den Brief hier aufnehmen, um an die uns besonders wichtig scheinenden Stellen Bemerkungen zu knüpfen, und damit man die Ansicht Fresnel's genau kennen lerne. Der Eingang bezieht sich auf die vielgenannten Arago'schen Beobachtungen:

„Par vos belles expériences sur la lumière des étoiles, vous avez démontré que le mouvement du globe terrestre n'a aucune influence sensible sur la réfraction des rayons qui émanent de ces astres. On ne peut expliquer ce résultat remarquable, dans le système de l'émission, comme vous l'avez fait observer, qu'en supposant que les corps lumineux impriment aux molécules de lumière une infinité de vitesses différentes, et que ces molécules n'affectent l'organe de la vue qu'avec une seule de ces vitesses, ou du moins entre des limites très-rapprochées, et telles qu'un dix-millième en plus ou en moins est plus que suffisant pour empêcher la sensation. La nécessité de cette hypothèse n'est pas une des moindres difficultés du système de l'émission; car à quoi tient la vision? Au choc des molécules lumineuses contre le nerf optique? Mais ce choc ne deviendrait pas insensible par une augmentation de vitesse. A la manière dont elles se réfractent dans la prunelle? Mais des molécules rouges, par exemple, dont la vitesse aurait été diminuée même d'un cinquième, se refracteraient encore moins que les rayons violets et ne sortiraient pas du spectre, qui présente les limites de la vision.“

Es ist nicht Fresnel's eigne Ansicht, sondern vielmehr Arago's, wie längst anerkannt, auf incorrecter Interpretation des Experiments beruhende Meinung: „que le mouvement du globe terrestre n'a aucune influence sensible sur la réfraction

des rayons etc.“ Dieses Versehen Arago's wird von Fresnel mit so grosser Schonung corrigirt, dass ein nicht ganz aufmerksamer Leser leicht zu dem Glauben verleitet werden kann, Fresnel theile die Arago'sche Ansicht. Die Fortsetzung des Briefes klärt weiter unten darüber auf. Es heisst dann weiter:

„Vous m'avez engagé à examiner si le résultat de ces observations pourrait se concilier plus aisément avec le système qui fait consister la lumière dans les vibrations d'un fluide universel. Il est d'autant plus nécessaire d'en donner l'explication dans cette théorie, qu'elle doit s'appliquer également aux objets terrestres; car la vitesse avec laquelle se propagent les ondes est indépendante du mouvement du corps dont elles émanent.“

Dieser letzte Satz hat den Character einer gelegentlichen Aeussderung, der wahrscheinlich ein eigentliches Examen der betreffenden Frage nicht vorangegangen ist. Man thut wohl, solcher gelegentlich ausgesprochenen Ansicht kein zu grosses Gewicht beizulegen, auch wenn sie von einem Fresnel kommt. Der Leser wird leicht erkennen, warum das Experiment Arago's einen brauchbaren Beitrag zur Beantwortung der Frage über den Einfluss der Bewegung der Lichtquelle nicht liefern kann. Die *durchschnittliche* Brechung für verschiedene Gegenden des Himmels wird immer dieselbe sein, trotz etwaiger *individueller* Verschiedenheiten der Sterne. Die letzteren zu erkennen, bedarf es zahlreicher Beobachtungen, einer andern Auswahl und eines andern Arrangements als Arago getroffen hat. Uebrigens kann ohne alle Gefahr für unser vorliegendes Thema die Ansicht, die Bewegung der Lichtquelle habe Einfluss auf die Brechung, vorläufig als absurd perhorrescirt werden.

Fresnel fährt dann fort:

„Si l'on admettait que notre globe imprime son mouvement à l'éther dont il est enveloppé, on concevrait aisément pourquoi le même prisme réfracte toujours la lumière de la même manière, quelle que soit le côté d'où elle arrive. Mais il paraît impossible d'expliquer l'aberration des étoiles dans cette hypothèse: je n'ai pu jusqu'à présent du moins concevoir nettement ce phénomène qu'en supposant que l'éther passe librement au

„travers du globe, et que la vitesse communiquée à ce fluide „subtil n'est qu' une petite partie de celle de la terre; n'en „excède pas le centième, par exemple.

„Quelque extraordinaire que paraisse cette hypothèse au „premier abord, elle n'est point en contradiction, ce me semble, „avec l'idée que les plus grands physiciens se sont faite de „l'extrême porosité des corps. On peut demander, a la vérité, „comment un corps opaque tres mince interceptant la lumiere, il „arrive qu'il s'établisse un courant d'éther au travers de notre „globe. Sans prétendre répondre complètement à l'objection, je „ferai remarquer cependant que ces deux sortes de mouvemens „sont d'une nature trop différente pour qu'on puisse appliquer „à l'un ce qu'on observe relativement à l'autre. Le mouvement „lumineux n'est point un courant, mais une vibration de l'éther. „L'on conçoit que les petites ondes élémentaires dans lesquelles „la lumière se divise en traversant les corps peuvent, dans cer- „tains cas, se trouver en discordance lorsqu'elles se réunissent, „en raison de la différence de chemins parcourus ou des retards „inégaux qu'elles ont éprouvés dans leur marche; ce qui empêche „la propagation des vibrations, ou les dénature de façon à leur „ôter la propriété d'éclairer, ainsi que cela a lieu d'une manière „bien frappante dans les corps noirs; tandis que le mêmes cir- „constances n'empêcheraient pas l'établissement d'un courant „d'éther. L'on augmente la transparence de l'hydrophane en la „mouillant, et il est évident que l'interposition de l'eau entre „les particules, qui favorise la propagation des vibrations lumi- „neuses, doit au contraire être un petit obstacle de plus à „l'établissement d'un courant d'éther; ce qui démontre bien la „grande différence qui existe entre ces deux espèces de mou- „vemens.

„L'opacité de la terre n'est donc pas une raison suffisante „pour nier l'existence d'un courant d'éther entres ses molécules, „et l'on peut la supposer assez poreuse pour qu'elle ne commu- „nique à ce fluide qu'une très petite partie de son mouvement.

„A l'aide de cette hypothèse, le phénomène de l'aberration „est aussi facile à concevoir dans la théorie des ondulations que „dans celle de l'émission; car il résulte du déplacement de la „lunette pendant que la lumière la parcourt: or, d'après cette „hypothèse, les ondes lumineuses ne participant point sensible-

„ment au mouvement de la lunette, que je suppose dirigée sur
„le lieu vrai de l'étoile, l'image de cet astre se trouve en arrière
„du fil placé au foyer de l'oculaire d'une quantité égale à celle
„que parcourt la terre pendant que la lumière parcourt la
„lunette.“

Es ist dies Letztere genau die Betrachtungsweise der *Theoria motus corporum coelestium*, art. 118; sie gewährt den grossen Vortheil zu zeigen, dass die Aberration von der brechenden Flüssigkeit des Auges nicht abhängt, wenn man ein Instrument mit Fadenkreuz gebraucht.

„Il s'agit d'expliquer maintenant,“ heisst es dann weiter, „dans la même hypothèse, comment la réfraction apparente ne varie pas avec la direction des rayons lumineux par rapport au mouvement terrestre.“

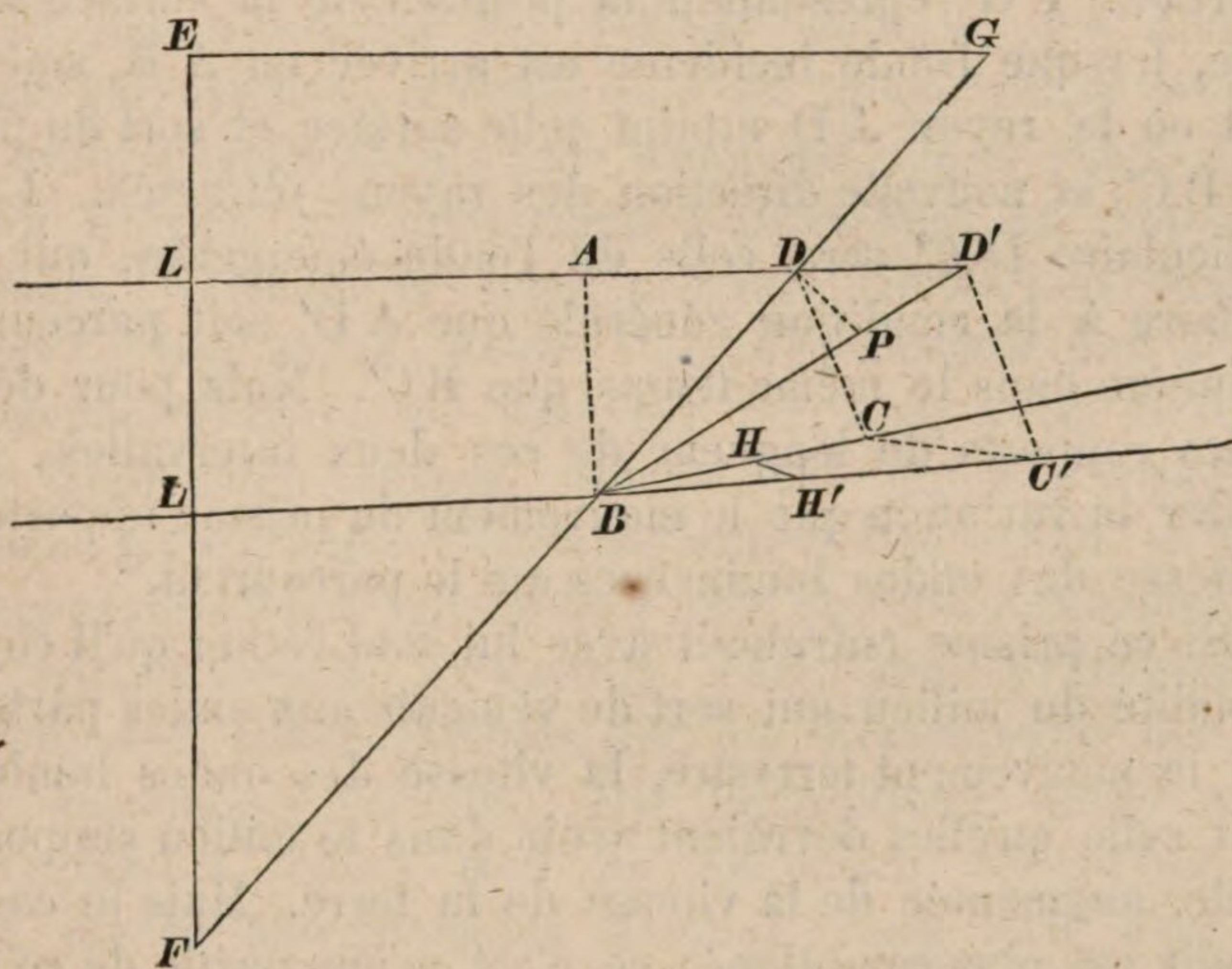


Fig. 1.

„Soit E F G, fig. 1, un prisme dont le côté E.F est supposé
 „perpendiculaire à-la-fois à l'écliptique et aux rayons incidens,
 „qui se trouvent ainsi dans la direction du mouvement terrestre:
 „s'il peut influer sur leur réfraction, c'est le cas où cette influence
 „doit être le plus sensible. Je suppose qu'ils se meuvent dans
 „le même sens que le prisme.“

„Les rayons, étant perpendiculaires à la surface d'entrée, „n'éprouvent aucune réfraction de ce côté du prisme, et l'on n'a „à considérer que l'effet produit par la seconde surface. Soient „L D et L B deux de ces rayons qui rencontrent la surface de „sortie aux points D et B. Soit B C la direction que prend le „rayon L B en sortant du prisme, dans le cas où ce prisme est „immobile. Si du point D on abaisse une perpendiculaire sur „le rayon émergent, et que par le point B, on mène B A per- „pendiculairement aux rayons incidents; la lumière doit parcourir „A D dans le même instant que B C: telle est la loi qui déter- „mine la direction de l'onde réfractée D C. Mais le prisme „étant entraîné par le mouvement terrestre, pendant que la lu- „mière parcourt l'intervalle A D, le point D se déplace; ce qui, „augmentant la différence des chemins parcourus dans le verre „par les deux rayons L D et L B, doit changer l'angle de „réfraction. F G représentant la position de la surface d'émer- „gence, lorsque l'onde incidente est arrivée en A B, soit D' le „point où le rayon A D atteint cette surface et sort du prisme. „Soit B C' la nouvelle direction des rayons réfractés. La per- „pendiculaire D' C' sera celle de l'onde émergente, qui devra „satisfaire à la condition générale que A D' soit parcouru par „la lumière dans le même temps que B C'. Mais pour détermi- „ner les rapports de longueur de ces deux intervalles, il faut „calculer la variation que le mouvement du prisme apporte dans „la vitesse des ondes lumineuses qui le parcourent.“

„Si ce prisme entraînait avec lui tout l'éther qu'il contient, „la totalité du milieu qui sert de véhicule aux ondes partageant „ainsi le mouvement terrestre, la vitesse des ondes lumineuses „serait celle qu'elles devraient avoir dans le milieu supposé im- „mobile, augmentée de la vitesse de la terre. Mais le cas dont „il s'agit est plus compliqué; ce n'est qu'une partie de ce milieu „qui est entraînée par notre globe, celle qui constitue l'excès de „sa densité sur l'éther environnant. L'analogie indique que „lorsqu' une partie seulement du milieu se déplace, la vitesse „de propagation des ondes ne doit être augmentée que de la vitesse „du centre de gravité du système.“

Es ist wohl gewiss, dass wenn wir überhaupt mit Fres- nel ein Recht haben, Mittel von grösserer oder geringerer op- tischer Dichtigkeit anzunehmen, dem bewegten optisch dichteren

Mittel seine grössere Dichtigkeit auf irgend eine Weise erhalten werden muss. Nehmen wir, indem wir über die Art dieses Erhaltens Hypothesen aufstellen, gar keine Rücksicht auf metaphysische Wahrscheinlichkeit, so können wir uns denken, dass der optisch dichtere Körper *allen* in ihm enthaltenen Aether mit sich führt. Es würde dann an der Stelle des Raums, welche er bei seiner Bewegung verlässt, eine vollkommene Leere entstehen, während an der Stelle, in welche der Körper einrückt, der ganze dort vorher befindliche Aether verdrängt werden müsste. Nehmen wir dagegen an, der in dem Körper enthaltene Aether nehme an der Bewegung gar nicht Theil, so würde in dem jedesmal verlassenen Raume ein Ueberschuss entstehen; an der neu eingenommenen Stelle würde dagegen nicht so viel Aether sein, als der Körper als ein optisch dichterer bedarf. In beiden Hypothesen würde es einer zweiten Bewegung des Aethers bedürfen, den normalen Zustand herzustellen, deshalb sind sie metaphysisch weit weniger wahrscheinlich, als die Annahme, dass jeder optisch dichtere Körper nur denjenigen Ueberschuss an Aether mit sich führt, welchem er seine grössere Dichtigkeit verdankt. Dies ist die Hypothese, welche Fresnel aufstellt und sogleich noch weiter erörtert. So sehr wir nun aber auch dieser Annahme beipflichten müssen, welche auch durch gewisse, sehr sinnreiche Experimente Fizeau's eine Stütze erhält, so wenig, im Gegensatz hierzu, ist es uns möglich, anzuerkennen, dass diese translatorische Bewegung nach den Principien der Wellentheorie einen Einfluss auf die Erscheinung der Aberration auszuüben vermag. Die Begründung dieser Ansicht des Verfassers findet sich im folgenden Abschnitte; das Wesen dieser abweichenden Meinung lässt sich aber kurz dahin aussprechen, dass das Arago'sche Experiment auch durch jede andere Annahme über die Translation des Aethers erklärt wird, so lange dieselbe keinen anderen Dichtigkeitswechsel hervorruft, als der durch die Scheidewand bedingte. Dichtigkeitsänderungen allerdings würden *neue* Scheidewände hervorrufen und dann hierdurch Einfluss gewinnen.

Kehren wir nun zu der Entwicklung Fresnel's zurück, deren Gedankenfolge wir im Vorhergehenden schon etwas vorgegriffen haben.

„Ce principe est évident pour le cas où la partie en mouvement est la moitié du milieu; car, en rapportant le mouvement du système à son centre de gravité, considéré un instant comme fixe, ses deux moitiés s'en éloignent l'une et l'autre avec une égale vitesse et dans des sens opposés; il en résulte que les ondes doivent être autant retardées dans un sens, qu'accéléérées dans l'autre, et qu'elles n'ont que la vitesse ordinaire de propagation par rapport au centre de gravité, ou, ce qui revient au même, qu'elles partagent son mouvement. Si la partie mobile était le quart, le huitième, le seizième, etc. du milieu, on démontrerait aussi facilement que la vitesse à ajouter à celle de propagation des ondes est le quart, le huitième, le seizième, etc. de celle de la partie mobile, ou la vitesse même du centre de gravité, et il est clair que le théorème étant vrai pour tous ces cas particuliers, doit l'être en général.

„Cela posé, le milieu prismatique étant en équilibre de tension avec l'éther environnant (je suppose, pour plus de simplicité, que l'expérience est faite dans le vide), on peut considérer le retard de la lumière dans le prisme lorsqu'il est immobile, comme résultant uniquement d'une plus grande densité; ce qui donne le moyen de déterminer le rapport de densité des deux milieux; car on sait qu'il doit être inverse de celui des carrés des vitesses de propagation des ondes. Soient d et d' les longueurs d'ondulation de la lumière dans l'éther environnant et dans le prisme, Δ et Δ' les densités de ces deux milieux; on a donc la proportion: $d^2 : d'^2 :: \Delta' : \Delta$; d'où $\Delta' = \Delta \cdot \frac{d^2}{d'^2}$, et par conséquent $\Delta' - \Delta = \Delta \left(\frac{d^2 - d'^2}{d'^2} \right)$.

„Telle est la densité de la partie mobile du milieu prismatique. Si l'on représente par t l'espace que parcourt la terre pendant la durée d'une oscillation lumineuse, le déplacement du centre de gravité de ce milieu pendant le même intervalle de temps, que je prends pour unité, ou la vitesse de ce centre de gravité sera :

$$t \cdot \left(\frac{d^2 - d'^2}{d'^2} \right).$$

„Par conséquent, la longueur d'ondulation d'' dans le prisme emporté par la terre sera égale à $d' + t \left(\frac{d^2 - d'^2}{d'^2} \right)$.

„En calculant, à l'aide de cette expression, l'espace AD' (Fig. 1) parcouru par le rayon AD, avant sa sortie du prisme, on peut aisément déterminer la direction du rayon réfracté BC'. Si on la compare à celle du même rayon BC, dans le cas où le prisme est immobile, on trouve pour le sinus de l'angle CBC', en négligeant, à cause de la petitesse de t, tous les termes multipliés par son carré et les puissances supérieures, l'expression:

$$\frac{t}{d'} \sin. i \cos. i - \frac{t}{d d'} \cdot \sin. i \sqrt{d'^2 - d^2 \sin.^2 i},$$

„dans laquelle i représente l'angle d'incidence ABD.

„Je suppose que, par un point H quelconque du rayon BC, on mène une ligne HH' parallèle à l'écliptique, et égale à l'espace parcouru par la terre pendant le temps employé par la lumière pour aller de B en H'; l'axe optique de la lunette avec laquelle on observe le point de mire étant dirigé suivant BH, la lumière doit suivre la direction BH' pour arriver en H' en même temps que le fil de la lunette entraînée dans le mouvement terrestre: or, la ligne BH' coïncide précisément avec la direction BC' du rayon réfracté par le prisme emporté dans le même mouvement; car on trouve aussi, pour la valeur de $\sin. HBH'$, l'expression:

$$\frac{t}{d'} \sin. i \cos. i - \frac{t}{d d'} \cdot \sin. i \sqrt{d'^2 - d^2 \sin. i}.$$

„Ainsi, l'on doit placer la lunette dans la même direction que si le prisme était immobile; d'où il résulte que le mouvement de notre globe ne doit avoir aucune influence sensible sur la refraction apparente, lors même qu'on suppose qu'il ne communique à l'éther qu'une très-petite partie de sa vitesse. On peut s'assurer, par un calcul très-simple, qu'il doit en être de même de la réflexion. Ainsi, cette hypothèse, qui donne une explication satisfaisante de l'aberration, ne conduit à aucune conséquence contraire aux faits observés.“

Man übersehe nicht, dass Fresnel sagt: „d'où il résulte que mouvement de notre globe ne doit avoir aucune influence sensible sur la réfraction *apparente* etc. Arago dagegen stellt, wie aus seinen Worten deutlich hervorgeht, den Einfluss der Erdbewegung auf die *wirkliche* Richtung des gebrochenen Strahls als durch das Experiment dementirt dar. Fresnel

spricht seine fast diametral entgegenlaufende Meinung in dem Ausdrucke réfraction *apparente* aus.

Der letzte Abschnitt des wichtigen Briefes, zu welchem wir nur noch Weniges zu bemerken haben, lautet:

„Je terminerai cette lettre par une application de la même „théorie à expérience proposée par Boscovich, consistant à „observer le phénomène de l'aberration avec des lunettes rem- „plies d'eau, ou d'un autre fluide beaucoup plus réfringent que „l'air, pour s'assurer si la direction dans laquelle on aperçoit „une étoile peut varier en raison du changement que le liquide „apporte dans la marche de la lumière. Je remarquerai d'abord „qu'il est inutile de compliquer de l'aberration le resultat que „l'on cherche, et qu'on peut aussi bien le déterminer en visant „un objet terrestre qu'une étoile. Voici, ce me semble, la „manière la plus simple et la plus commode de faire l'ex- „périence.

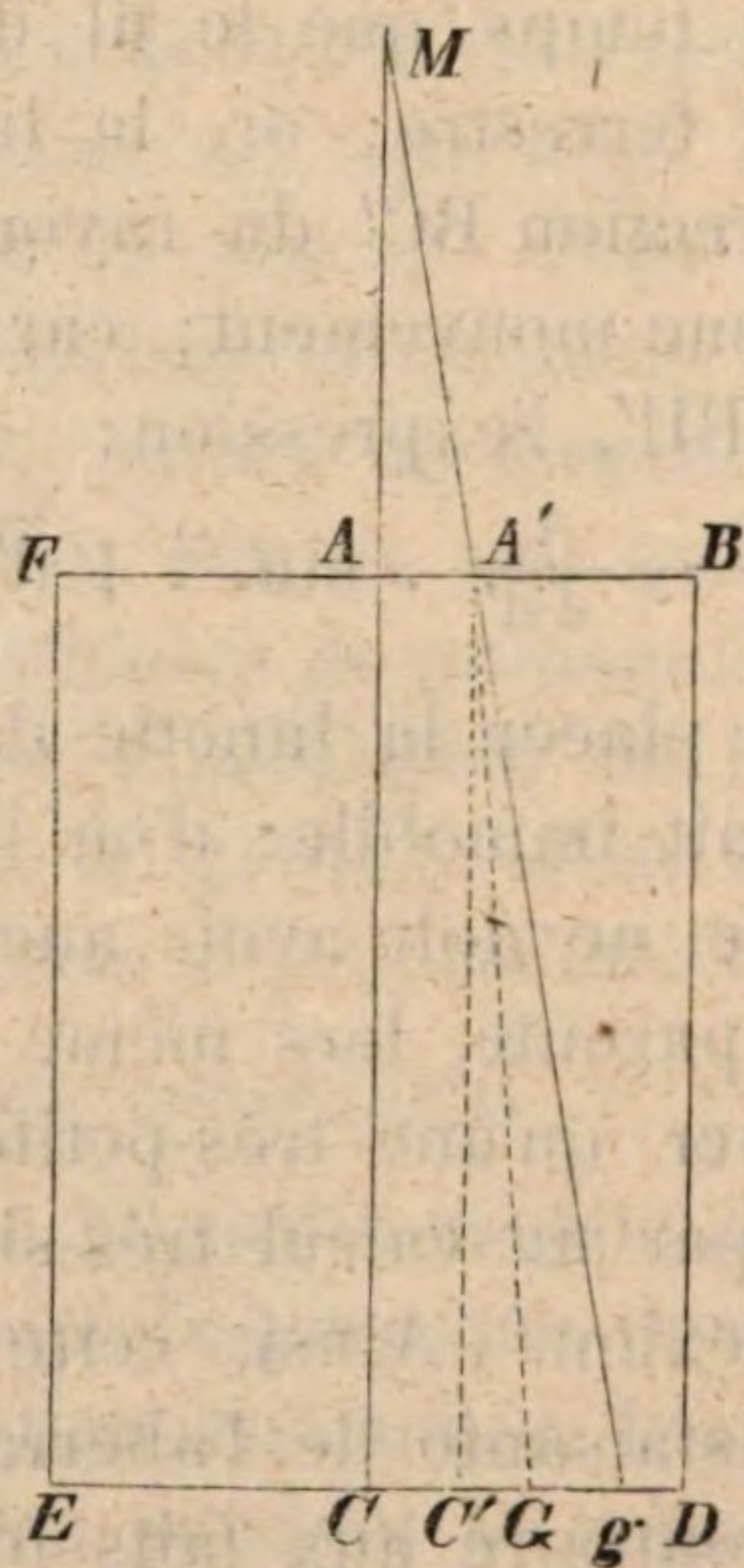


Fig. 2.

„Ayant fixé a la lunette même, ou plutôt au microscope „FBDE (Fig. 2), le point de mire M, situé dans le prolonge- „ment de son axe optique CA, on dirigerait ce système per- „pendiculairement à l'ecliptique, et, après avoir fait l'observa-

„tion dans un sens, on le retournerait bout pour bout, et l'on
 „ferait l'observation en sens contraire. Si le mouvement terre-
 „stre déplaçait l'image du point M par rapport au fil d'ocu-
 „laire, on la verrait, de cette manière, tantôt à droite et tantôt
 „à gauche du fil.

„Dans le système de l'émission, il est clair, comme Wil-
 „son l'a déjà remarqué, que le mouvement terrestre ne doit
 „rien changer aux apparences du phénomène. En effet, il
 „résulte de ce mouvement que le rayon partant de M doit
 „prendre pour passer par le centre de l'objectif, une direction
 „MA' telle que l'espace AA' soit parcouru par le globe dans le
 „même intervalle de temps que la lumière emploie à parcourir
 „MA', ou MA (à cause de la petitesse de la vitesse de la terre
 „relativement à celle de la lumière). Représentant par v la
 „vitesse de la lumière dans l'air, et par t celle de la terre, on
 „a donc: $MA : AA' :: v : t$, ou $\frac{AA'}{AM} = \frac{t}{v}$; c'est le sinus
 „d'incidence. v' étant la vitesse de la lumière dans le milieu
 „plus dense que contient la lunette, le sinus de l'angle de
 „réfraction CA'G sera égal à $\frac{t}{v'}$; on aura donc $C'G = A'C' \frac{t}{v'}$;
 „d'où l'on tire la proportion: $C'G : A'C' :: t : v'$. Par consé-
 „quent, le fil C' de l'oculaire placé dans l'axe optique de la
 „lunette arrivera en G en même temps que le rayon lumineux
 „qui a passé par le centre de l'objectif.

„La théorie des ondulations conduit au même résultat. Je
 „suppose, pour plus de simplicité, que le microscope est dans
 „le vide. d et d' étant les vitesses de la lumière dans le vide
 „et dans le milieu que contient la lunette, on trouve, pour le
 „sinus de l'angle d'incidence AMA', $\frac{t}{d}$, et pour celui de l'angle
 „de réfraction C'A'G, $\frac{t d'}{d^2}$. Ainsi, indépendamment du deplace-
 „ment des ondes dans le sens du mouvement terrestre, $C'G =$
 „ $A'C' \cdot \frac{t d'}{d^2}$. Mais la vitesse avec laquelle ces ondes sont
 „entraînées par la partie mobile du milieu dans lequel elles se
 „propagent est égale à $t \left(\frac{d^2 - d'^2}{d^2} \right)$; donc leur déplacement total
 „Gg, pendant le temps qu'elles emploient à traverser la lunette,
 „est égal à:

$$\frac{A'C' \cdot t}{d'} \left(\frac{d^2 - d'^2}{d^2} \right);$$

„ainsi:

$$C'g = A'C' \cdot t \left(\frac{d'}{d^2} + \frac{d^2 - d'^2}{d' d^2} \right) = A'C' \cdot t \left(\frac{d^2}{d' d^2} \right) = A'C' \cdot \frac{t}{d'}.$$

„On a donc la proportion: $C'g : A'C' :: t : d'$; par conséquent l'image du point M arrivera en g, en même temps que le fil du micromètre. Ainsi, les apparences du phénomène doivent toujours rester les mêmes, quel que soit le sens dans lequel on tourne cet instrument. Quoique cette expérience n'ait point encore été faite, je ne doute pas qu'elle ne confirme cette conséquence, que l'on déduit également du système de l'émission et de celui des ondulations.“

Das von Boscovich projectirte Experiment, mit einigen unwesentlichen, aber vortheilhaft scheinenden Modificationen, wie z. B. Substitution von chemisch reinem Terpentin-Oel für Wasser, vom Verfasser mit aller Vorsicht ausgeführt, hat diese letztere Vermuthung Fresnel's bis jetzt nicht bestätigt. Es scheint vielmehr auch dieses Experiment, wie andere nach Fresnel's Zeit gesammelte Erfahrungen, dafür zu sprechen, dass die Aberrations-Constante von den Mitteln abhängt, aus denen das Fernrohr construirt ist.

VI.

Begründung des Satzes, dass für die Lage des gespiegelten oder gebrochenen Strahls nur diejenigen translatorischen Bewegungen des Aethers von Einfluss sind, welche die Scheidewand der Mittel ändern.

Bei der Besprechung des Fresnel'schen Briefes durfte Verfasser mit seiner eignen abweichenden Meinung nicht zurückhalten, wenn er nicht auf den Zweck dieser Schrift verzichten wollte. So sehr man es für wahrscheinlich halten darf, dass die Entrainirung des Aethers gemäss der von Fresnel aufgestellten Hypothese vor sich geht, so wenig wird man die Stärke der folgenden Gründe zu verkennen vermögen, welche zeigen, dass eine solche Entrainirung für die Richtung

der Strahlen dennoch ganz ohne Einfluss bleiben muss. Vergewärtige sich der Leser, was die Wellentheorie unter Richtung des Strahls versteht: die Normale zur Wellenoberfläche. Diese Fläche wird stets definirt als diejenige Fläche, welche die Theilchen gleicher Phase mit einander verbindet, und ist in unserem Falle, wegen der ausserordentlich grossen Entfernung der Lichtquelle, eine Ebene. Die Richtung eines Strahles wird immer bestimmt durch die Aethertheilchen gleicher Phase, und das Hervorbringen eines Strahls von bestimmter Richtung ist als die *Gesamtwirkung* aller Aethertheilchen zu betrachten, welche im Bereiche der Wellenverbreitung liegen. Da aber diese Gesamtwirkung als solche von dem *Orte*, welchen die einzelnen Aethertheilchen oder die Individuen einnehmen, unabhängig ist, so ist sie auch unabhängig von der translatorischen *Bewegung* der Theilchen. Um die Begriffe zu fixiren, wählen wir die Betrachtung eines ganz bestimmten Falles. Ein Dioptr sei in der Länge seiner begrenzten messenden Axe, d. h. zwischen Visiröffnung und Fadenkreuz, mit einem stark brechenden Medium vom Brechungs-Index n angefüllt. Ein Strahl falle, seiner wahren Richtung nach, mit dieser Axe zusammen, zu welcher in diesem concreten Falle die Bewegung der Erde senkrecht sein soll. Man hätte also für den Strahl das Maximum der Aberration, und es müsste daher auch, wenn nach Fresnel's Auffassung als Folge der translatorischen Bewegung des Aethers die Aberration die gewöhnliche α , statt $n^2 \alpha$ bleiben sollte, auch diese Wirkung der translatorischen Bewegung auf die Richtung des Strahls am grössten sein. Es findet nun aber gerade in diesem Falle am offenbarsten gar keine solche Wirkung statt; denn da die Aethertheilchen *hier* in der Wellenebene selbst transferirt werden, rückt in der Wellenebene an die Stelle, welche ein Aethertheilchen mit der, der Wellenebene gemeinschaftlichen Schwingungsphase verlassen hat, ein anderes, welches dieselbe Phase hat; die Phase ist überall in der Wellenebene um die Grösse Null variirt, und deshalb weder Wellenebene gedreht, noch Richtung des Strahls verändert worden. Der Strahl durchläuft demnach die Axe des Dioptr in ganz derselben Richtung, und (da eine translatorische Bewegung in der Richtung im betrachteten Falle nicht vorhanden) auch mit

derselben Geschwindigkeit, als wenn die translatorische Bewegung des Aethers überhaupt nicht vorhanden wäre, und bloss das Fadenkreuz bewegt würde. Man darf also keineswegs erwarten, die Aberrations-Constante trotz des stärker brechenden Mediums auf den gewöhnlichen Werth α reducirt zu sehen.

Die in die Richtung des Strahls fallende Componente ist für die Aberration gleichgültig. Man kann aber in Beziehung auf diese noch bemerken, dass, wenn sie vorhanden wäre und eine Veränderung der Phase in Folge der translatorischen Bewegung einträte, diese überall in der Wellenebene zwar nicht Null, aber constant sein würde. Für die Richtung des Strahles würde dieses so gleichgültig sein, als die Einschlebung eines Planparallel-Glases sein würde, oder wie es die Epoche ist, für welche die Lichtquelle mit Leuchten begonnen hat. Welche Richtung also auch die Bewegung der Erde haben mag, und in welcher Proportion der Aether daran Theil nehmen möge, eine solche Erscheinung, wie die Richtung des Strahls wird dadurch nicht afficirt werden. Nur solche Bewegungen können darauf Einfluss ausüben, welche Dichtigkeitsänderungen hervorrufen, oder, wie die Bewegung der Scheidewand, der Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Dichtigkeiten eine andere Lage geben. Mit Rücksicht darauf, dass die Dichtigkeitsänderungen unter die Kategorie Aenderungen der Scheidewände gerechnet werden können, dürfen wir uns also kurz so aussprechen, dass *die Richtung des Strahls, unabhängig von der translatorischen Bewegung des Aethers, nur durch die Bewegung der Scheidewände der Mittel variirt wird.*

Dieses Princip, bisher von Niemand aufgestellt, welches aus der Natur der Wellentheorie mit Nothwendigkeit zu folgen scheint, liefert ein Verständniss für eine Reihe von Erfahrungen, die unvermittelt neben einander standen, und scheint in Wirklichkeit alle im Eingange des Fresnel'schen Briefes erwähnten Schwierigkeiten zu beseitigen. Wir haben früher schon hervorgehoben, dass man es auch als einen aus dem Arago'schen Experimente gewonnenen Erfahrungssatz ansehen kann; andere Erfahrungen, dahin zu deuten, werden wir im folgenden Abschnitte kennen lernen.

Um aber das wichtige Princip noch an einem Beispiele

zu versinnlichen, erinnern wir an die bekannte Entstehungsart des Regenbogens. Auch hier haben wir es, was die Lage des Mittelpunktes des Regenbogens betrifft, mit einer Gesamtwirkung aller der Regentropfen zu thun, welche in der Ausdehnung des Bogens fallen. Man sieht leicht ein, dass der Ort des Centrums nur durch die Richtung der Sonnenstrahlen bestimmt wird, welche Geschwindigkeit die Regentropfen selbst auch immer annehmen möchten. Wenn z. B. an einer Stelle des Bogens der Regen sehr plötzlich aufhörte, an einer davon sehr entfernten hingegen eben so plötzlich entstände, so würde dies mechanisch einer ausserordentlich grossen Bewegung der Regentropfen gleich zu achten sein. Aber dennoch würden nur die Intensitätsverhältnisse geändert; die Lage des Centrums des Bogens, lediglich von der Richtung der in den Tropfen gebrochenen, gespiegelten und bei diesem Vorgange in die einzelnen Farben zerlegten Sonnenstrahlen abhängig, also eine von dem Ort der einzelnen Tropfen unabhängige Gesamtwirkung, wird dennoch durchaus nicht geändert sein. Denn es ist offenbar, dass eine Gesamtwirkung, welche vom Orte unabhängig ist, auch von dem unabhängig ist, was eine Ortsveränderung hervorbringt, der Bewegung. Dasselbe, was sich hier von der Gesamtwirkung der Regentropfen sagen liess, lässt sich offenbar auch von der Gesamtwirkung der Aethertheilchen, bestehend in dem Hervorbringen von Wellenebenen, behaupten.

VII.

Abhängigkeit der Aberrationsconstante eines Fernrohrs von der Glasdicke des Objectivs.

Dasselbe, was für ein, mit einem stark brechenden Medium angefülltes Diopter gilt, wird auch auf ein derartig verändertes Fernrohr seine Anwendung finden. Denn da ein jeder der Strahlen, welcher vom Objectiv gesammelt und nach dem Brennpunkte gebrochen wird, ganz dieselbe Richtung verfolgt, als wenn der im Fernrohr befindliche Aether frei

von Translation durch die Erde wäre, so wird der Durchschnitt aller dieser Strahlen, der Ort des Bildes, gleichfalls nicht durch die Translation beeinflusst sein. Fresnel betrachtet dieses Bild als ein reelles Object, wie häufig bei dioptrischen Untersuchungen geschieht und im Allgemeinen auch erlaubt ist. *Hier* indessen führt diese Betrachtungsweise irre; ein reelles Object würde allerdings von der Erde in einer gewissen Proportion zur Bewegung mitgerafft werden können, ein virtuelles Object oder ein blosses Bild aber *nicht*, zumal die Rolle, dasselbe hervorzubringen, nicht immer denselben, sondern stets andern und anderen Aethertheilchen zufällt.

Wir dürfen deshalb nicht nur erwarten, dass eine, in einem Fernrohre angebrachte, Flüssigkeitssäule die mit dem Fernrohre zu bemerkende Aberration sehr bedeutend vergrößert; schon die Wirkung der Glasdicke des Objectivs, in dessen Innern sich die Lichtwellen langsamer fortpflanzen, als im Weltenraume, wird uns nicht mehr erlauben, die Aberrationsconstante als unabhängig vom Instrumente anzusehen. Wir wollen jetzt diesen Einfluss für eine einfache Linse ermitteln.

Es sei d der Mittelwerth für die Dicke der Linse,
 f deren Brennweite,
 D der Abstand der Fäden von der inneren Fläche der Linse,
 a die Entfernung des zweiten Hauptpunktes vom inneren Scheitel der Linse,
 r der Krümmungshalbmesser der äussern,
 r' der der innern Fläche der Linse, beide positiv gerechnet, wenn die Fläche gegen das Object convex ist,
 g die Geschwindigkeit der Erde in der zum Strahle senkrechten Componente,
 v die Geschwindigkeit des Lichtes im Weltenraum,
 v' die Geschwindigkeit im Glase,
 n der Brechungs-Index der Glas-Sorte.

In der Figur 3 seien H und H' die beiden Hauptpunkte, F der Ort, wo das Bild entsteht, F' der Ort, welchen das Fadenkreuz einnimmt, wenn die in die Axe der Linse fallenden Strahlen den Punkt F erreichen. Das Licht gebraucht

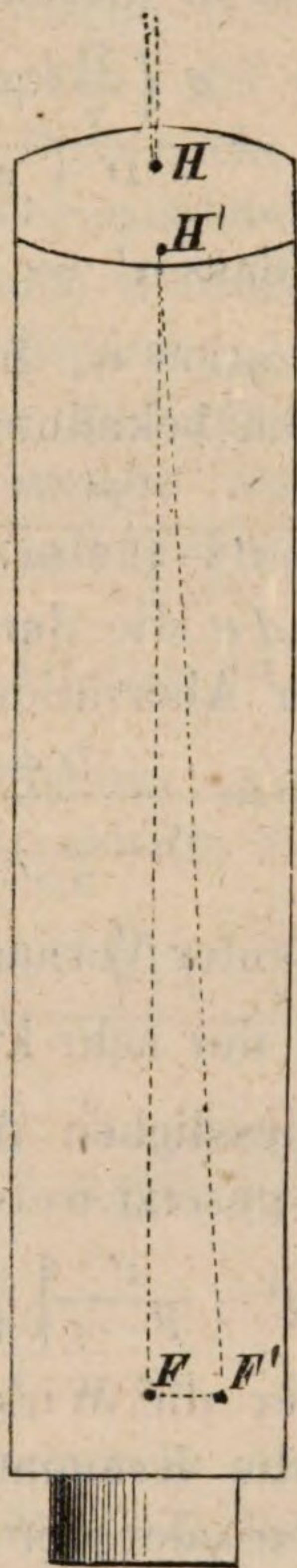


Fig. 3.

die Zeit $\frac{d}{v'}$ die Glasdicke des Objectivs zu durchlaufen, und die Zeit $\frac{D}{v}$ zum Durcheilen des innern leeren Raums zwischen Linse und Fadenkreuz.

Es ist also überhaupt $\frac{D}{v} + \frac{d}{v'}$ die Zeit, welche dem Fadenkreuz gelassen wird, seine Bewegung $\overline{FF'}$ zu machen, welche die Ursache der Aberration ist, und demnach

$$FF' = g \left(\frac{D}{v} + \frac{d}{v'} \right).$$

Die Aberration aber ist der Winkel $FH'F'$, bei dem wir

die Tangente gleich dem Bogen setzen dürfen. Wir erhalten demnach für die Aberration in diesem Falle

$$FH'F' = \frac{g \left(\frac{D}{v} + \frac{d}{v'} \right)}{D + a}.$$

Berücksichtigen wir, dass $v' = \frac{v}{n}$, setzen ferner für $\frac{g}{v}$ die Delambre'sche Aberration α , für a seinen aus Gauss dioptrischen Untersuchungen bekannten Ausdruck

$$\frac{a}{d} = \frac{r'}{n(r' - r) + (n - 1)d}$$

so haben wir noch unter $\Delta\alpha$ die durch die Objectivdicke veranlasste Vergrößerung der Aberrations-Constante verstanden:

$$FH'F' = \alpha + \Delta\alpha = \frac{D + nd}{D + \frac{r'd}{n(r' - r) + (n - 1)d}} \cdot \alpha.$$

Entwickelt man nun unter Vernachlässigung des Quadrats und der höheren Potenzen der sehr kleinen Grössen $\frac{d}{D}$ und $\frac{d}{r'}$, wobei auch in dem schliesslichen Ausdruck für die kleine Grösse $\Delta\alpha$ einfach f für D gesetzt werden kann, so erhält man:

$$I. \quad \Delta\alpha = \left\{ n^2 - \frac{r'}{r' - r} \right\} \frac{d}{f} \cdot \frac{\alpha}{n},$$

eine Formel, nach welcher die Wirkung jeder Linse zu berechnen ist, wenn man die Krümmungshalbmesser und den Brechungs-Index kennt. α oder der aus der Geschwindigkeit des Lichts im Weltenraum folgende Werth der Aberrations-Constante, ist bekanntlich nach Delambre gleich $20'',255$.

Die Formel I. kann auch für ein achromatisches Objectiv angewendet werden; denn ohne merklichen Fehler kann man annehmen, dass die Gesamtwirkung der Linsen eines solchen Objectes die Summe der Wirkungen der einzelnen Linsen ist. Jedoch muss man für diesen Fall sich erinnern, dass f nicht mehr die Brennweite der *einzelnen* Linse vorstellt, sondern die äquivalente oder resultirende Brennweite des Objectivs, da in der vorhergehenden Entwicklung D und das damit nahe übereinstimmende f *wesentlich* die Entfernung der Fäden vom Objectiv bedeutet.

Betrachten wir hier auch gleich den Fall, dass eine Säule vom Index n , von der Länge d und von parallelen Ebenen

begrenzt in ein Fernrohr von der Brennweite f eingeschaltet werde. Die grössere optische Dichtigkeit des Mediums der Säule wird es nöthig machen, die Fäden von dem Objectiv zu entfernen, wenn das Bild noch, wie es zur Beobachtung erforderlich, in der Fädenebene entstehen soll. Nach dioptrischen Sätzen ist diese nothwendig werdende Verlängerung des Fernrohrs der gegenseitigen Entfernung der beiden Hauptpunkte der Säule gleich, also, da die Krümmungshalbmesser der Endflächen der Säule, auf welche auch die dioptrischen Vorschriften für Linsen Anwendung finden, unendlich sind, gleich

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right)d.$$

Die Wirkung des Objectivs, als schon bekannt, hier bei Seite gesetzt, wird der Strahl die Zeit

$$\frac{d}{v'} + \frac{f + \left(1 - \frac{1}{n}\right)d - d}{v}$$

oder

$$\frac{d}{v'} - \frac{d}{nv} + \frac{f}{v}$$

oder endlich

$$\frac{nd}{v} - \frac{d}{nv} + \frac{f}{v}$$

nöthig haben, das Fadenkreuz zu erreichen. Wegen der Erdbewegung macht dieses während dessen die Bewegung

$$\frac{g}{v} \cdot \left(nd - \frac{d}{n} + f\right).$$

Um den dieser linearen Verschiebung entsprechenden Angularwerth abzuleiten, braucht man nur zu bemerken, dass durch das Einschieben der Säule die Reduction vom lineären Werth auf den Winkelwerth nicht geändert wird; denn der Factor für die Reduction bleibt derselbe, so lange die Convergenz der Strahlen dieselbe bleibt. Es ist leicht zu erkennen, dass die Strahlen nach ihrem Durchgange durch die Säule ganz dieselbe Bewegung haben wie vorher. Deshalb kommt jedem Faden-Intervall derselbe Angularwerth zu, wie wenn die Säule nicht eingeschoben wäre und die Fäden ihren gewöhnlichen Abstand vom Objectiv hätten. Demnach finden wir den, obiger Verschiebung entsprechenden Bogen, d. h. die Aberration bei

eingeschalteter Säule, indem wir mit f dividiren, und es wird in diesem Falle

$$\alpha + \Delta \alpha = \frac{g}{v} \left(1 + \frac{nd}{f} - \frac{d}{nf} \right) = \alpha \left(1 + \frac{nd}{f} - \frac{d}{nf} \right)$$

oder

$$\text{II.} \quad \Delta \alpha = \left(n^2 - 1 \right) \cdot \frac{d}{f} \cdot \frac{\alpha}{n}.$$

Um noch die vollkommene Uebereinstimmung dieser Formel II. mit dem, was wir für die Aberration eines *vollständig* mit einem dichteren Medium angefüllten Fernrohrs oder Diopters fanden, zu zeigen, wollen wir noch diesen speciellen Fall aus dem allgemeineren der Gleichung II. ableiten.

Da f die Brennweite des Objectivs im gewöhnlichen Sinne vorstellt, ist die Entfernung der Fäden vom Objectiv, wenn das Fernrohr mit einem dichteren Medium vom Index n ausgefüllt wird, um den Betrag

$$d \cdot \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

zu vergrössern. Man hat also, da der ganze Raum zwischen Objectiv und Fäden ausgefüllt sein soll

$$f + d \left(1 - \frac{1}{n} \right) = d$$

also

$$d = n f.$$

Die Gleichung II. liefert demnach für diesen speciellen Fall

$$\Delta \alpha = (n^2 - 1) \alpha$$

oder die dem Apparate alsdann zukommende Aberrationsconstante

$$\alpha + \Delta \alpha = n^2 \alpha,$$

genau mit dem früheren Resultate übereinstimmend. Die Formel II. ist also für Säulen von beliebiger Länge gültig; sie findet ihre practische Anwendung nicht bloss, wenn man, wie der Verfasser, den von Boscovich vorgeschlagenen Fundamentalversuch angestellt hat, um Theorie und Erfahrung zu vergleichen, sie wird auch dazu dienen, die Vergrösserung der Aberrationsconstante zu ermitteln, welche das in jedem Fernrohre mit gebrochener Axe angebrachte Prisma für Totalreflexion hervorbringt. Der Weg, welcher in dem Prisma vom Strahle zurückgelegt werden muss, kann sehr nahe der Ka-

thete der Basis gleich gesetzt werden, und diese Grösse ist für d in Formel II. zu substituiren. Um gleich zu zeigen, wie bedeutend das Prisma auf die Aberration einwirken kann, mag hier schon die Rechnung für ein kleines Ertel'sches Passage-Instrument der Göttinger Sternwarte Platz finden. Bei 21 Linien Oeffnung und 18 Zoll Brennweite des Objectivs beträgt die in Betracht kommende Dimension des Prisma nahe 10 Linien. Der Brechungs-Index wird 1,60 sehr nahe kommen. Danach wird in diesem Beispiel nach II.

$$\Delta \alpha = (2,56 - 1) \cdot \frac{10}{216} \cdot \frac{20,255}{1,60} \text{ Bogensekunden} = 0'',91;$$

man wird gewiss zugeben, dass eine zu erwartende Vergrößerung der Aberrations-Constante von $0'',91$ oder $0'',06$ in Zeit ein Umstand ist, der Beachtung verdient, besonders bei Gelegenheit von scharfen Längenbestimmungen durch den Telegraphen, im Falle, dass man an den zu vergleichenden Stationen Instrumente von sehr ungleicher Construction zur Anwendung gebracht haben sollte.

VIII.

Unterschied zwischen Delambre's und Struve's Aberrationsconstante, abgeleitet aus der Theorie.

Man weiss, dass die neueren Bestimmungen der Aberrationsconstante, unter anderen die von Struve, diese Constante um nahe $0'',20$ grösser ergeben, als sie aus Delambre's Untersuchung der Verfinsterungen des ersten Jupiterstrabanten nach der Römer'schen Methode gefunden wird. Dieser Unterschied ist früher einfach auf Beobachtungsfehler geschoben worden, welche man Delambre's Herleitung der Lichtzeit glaubte zu trauen zu dürfen. Der Verfasser hat schon Nr. 1583 der Astronomischen Nachrichten seine Ansicht ausgesprochen, dass dieser Unterschied, der Fresnel'schen Hypothesen ungeachtet, aus der Objectivwirkung zu erklären sei, bei welcher Gelegenheit er schon die Grundzüge seiner Aberrationstheorie angedeutet hat. Wir werden im Folgenden die Berechtigung

zu der Ansicht, jener Unterschied komme durch die im Glase des Objectivs stattfindende langsamere Fortpflanzung zu Stande, was die Seite der Erfahrung betrifft, näher kennen lernen.

Wenn aber dieser Nachweis für die Aberrationslehre im Allgemeinen Bedeutung haben soll, so müssen wir Anhaltspunkte dafür haben, dass der betreffende Unterschied mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht Beobachtungsfehlern seinen Ursprung verdankt. Was nun die aus Fixsternen erhaltene Aberration betrifft, so giebt der ganz ausserordentlich geringe wahrscheinliche Fehler der Bestimmungen von Struve, Peters, Lundahl, v. Lindenau, Richardson, eine gewisse Garantie dafür, dass keine dieser Bestimmungen um $0'',20$ fehlerhaft ist, trotz der Kleinheit dieser Grösse. Wir wollen die Bestimmungen, die uns die zuverlässigsten scheinen, hier anführen, um aus ihnen, mit Rücksicht auf die wahrscheinlichen Fehler, die Aberrationsconstante abzuleiten, welche wir einem Fernrohr von mittleren Dimensionen zuschreiben dürfen.

Aberration nach v. Lindenau	20,4486 w. F.	$= \pm 0'',0318$
„ Struve	. . 20,4451	$0'',0111$
„ Peters	. . 20,4255	$0'',0175$
„ Lundahl	. 20,5508	$0'',0433$
Richardson (Troughton's Circle)	. 20,505	$0'',043$
Richardson (Jones's Circle)	. . 20,502	$0'',049$

Mit Rücksicht auf die wahrscheinlichen Fehler erhält man daraus die Constante der Aberration für Fixsterne gleich $20'',4489$ mit dem wahrsch. Fehler $\pm 0'',0122$.

Dieser Werth stimmt mit der jetzt seit längerer Zeit für solche Reductionen angewandten Struve'schen Aberration so gut wie vollkommen überein. Wir müssen jedoch bemerken, dass nach unserer Theorie jedes Fernrohr eine etwas andere Aberration hat, dass diese Schwankungen um einen gewissen Durchschnittswerth bis zu einigen Hunderteln von Bogensekunden sich belaufen können. Die eben gefundene Zahl kann also nur als der für jetzt zuverlässigste Durchschnitt angeführt werden, aber nur für gerade Fernröhre, für gebrochene wird man, wie oben schon gezeigt wurde, die Aberration noch erheblich grösser annehmen müssen.

Wenden wir uns nun zu der Constante Delambre's, welche bekanntlich $20'',255$ also $0'',192$ kleiner ist, und der

Annahme entspricht, dass das Licht 493,2 Secunden gebraucht, den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen. Der Unterschied von $0'',192$ zwischen den beiden Bestimmungsarten mag uns vielleicht auf den ersten Blick als eine Grösse erscheinen, welche selbst bei feinen Mitteln schwer zu verbürgen sei. Wir müssen aber berücksichtigen, dass er in der von Delambre bestimmten Lichtzeit einer Aenderung von 4,58 Zeitsecunden entspricht. Obgleich nun leider Delambre seine Rechnungen nirgends in extenso mitgetheilt hat, was zu seiner Zeit auch viel weniger Gebrauch war, als heute, obgleich wir ebenso wenig wissen, von welcher Beschaffenheit die Instrumente waren, welche zu den Beobachtungen der Verfinsterungen des ersten Jupiters Trabanten von 1660 bis 1802 gedient haben, so ist doch ein Fehler solcher Grösse bei einer derartigen Anwendung der Römer'schen Methode nicht sehr wahrscheinlich. Denn das Verschwinden dieses Trabanten in dem Schatten, oder sein Hervortreten aus dem Schatten, hat nur Dauer von wenigen Secunden und ist für jedes einigermaßen brauchbare Fernrohr, d. h. für ein solches, welches den Trabanten auch noch bei einer mässigen Annäherung an die Scheibe des Jupiter gut zu zeigen vermag, ein ziemlich stark prononcirtes Phänomen. Ebenfalls können die Unvollkommenheiten in der Theorie des Systems vom Jupiter nur sehr geringen Einfluss auf die gefundene Lichtzeit geäussert haben, da die Beobachtungen über ein Jahrhundert umfassen. Am stärksten aber spricht zu Gunsten der Delambre'schen Bestimmung der Umstand, dass Delambre dieselbe zweimal ausgeführt hat, das erste Mal mit Benutzung von 500 Verfinsterungen des ersten Satelliten, das zweite Mal aus mehr als 1000 Beobachtungen desselben. Das Resultat beider Untersuchungen war gerade in Betreff der Lichtzeit so gut wie völlig übereinstimmend. In seinen Tafeln macht darüber Delambre folgende Aeusserung:

„J'ai déterminé le facteur $493'',2$ par plus de mille éclipse du premier satellite. Je n'en avais employé que cinq cents à cette recherche, dans mes premières Tables; mais ces nouveaux calculs ne m'ont donné aucune correction sensible, et mes nouvelles Tables de l'équation de la lumière sont

„les mêmes que les premières; j'en ai seulement un peu changé la distribution.“

Es erscheint deshalb nicht gerechtfertigt, die nach der *hergebrachten* Theorie der Aberration fehlende Uebereinstimmung zwischen den beiden Hauptbestimmungsarten und deren Resultaten der Struve'schen und der Delambre'schen Constante, dadurch zu beseitigen, dass man in der letzteren einen Fehler von der erforderlichen Grösse annimmt. Ueberhaupt ist es immer sehr misslich, unerwartet auftretende Unterschiede durch Beobachtungsfehler zu erklären, die *möglicherweise* vorgekommen sein *könnten*; man sollte zu dieser Auslegung nur im äussersten Nothfalle greifen. Ein solcher Fall liegt aber hier durchaus nicht vor; denn nur nach der *alten* Theorie besteht ein Unterschied zwischen Delambre und Struve, nach der *neuen* sind beide in der vollkommensten Uebereinstimmung, wie wir jetzt zeigen wollen.

Zu dem Ende brauchen wir bloss die Formel I. des vorhergehenden Abschnitts auf ein Fernrohr von mittleren Dimensionen in Anwendung zu bringen. Wir bedürfen dabei vor Allem eines Durchschnitts-Werthes des Verhältnisses $\frac{d}{f}$, oder der Glasdicke des Objectivs zur Brennweite. Um solchen zu erhalten, hat Verfasser an fünf Fernröhren der Göttinger Sternwarte, deren Brennweiten zwischen 4 und 6 Pariser Fuss liegen (genauer beträgt die grösste der Brennweiten 2020 Millimeter), Messungen angestellt. Das Verhältniss schwankt zwischen $\frac{1}{103,4}$ und $\frac{1}{131,0}$. Es ergab sich für die einzelnen Fernröhre:

bei dem 6füssigen Merz	$\frac{d}{f} = \frac{1}{103,4} = 0,00967,$
„ „ 4 „ Heliometer	$\frac{1}{104,0} = 0,00962,$
„ „ 5 „ Tubus von Steinheil	$\frac{1}{113,8} = 0,00879,$
„ „ 6 „ Passagen-Instrumente	$\frac{1}{125,9} = 0,00772,$
„ „ 5 „ Meridian-Kreis-Fernrohr	$\frac{1}{131,0} = 0,00764.$

Der Mittelwerth aus diesen Zahlen wird auf keinen Fall von dem durchschnittlichen Werthe anderer solcher Fernröhre,

wie zu Aberrations-Untersuchungen brauchbar erscheinen, erheblich verschieden sein. Instrumente von geringeren Dimensionen, welche auch meistens eine etwas bedeutendere Glasdicke haben, kommen hier nicht in Betracht und sind deshalb auch nicht bei den Messungen berücksichtigt worden. Es ergibt sich nun als Mittelwerth

$$\frac{d}{f} = 0,00869.$$

In Beziehung auf die Vertheilung dieser Dicke auf die Crown- und auf die Flintglaslinse kann, wie sich wenigstens bei Fraunhofer's Objectiven zeigte, die mittlere Glasdicke beider Linsen gleich gesetzt werden. Ein kleiner Unterschied in der Beziehung ist, wie der Leser leicht erkennen wird, in der resultirenden Wirkung der beiden Linsen fast unmerkbar, indem, was der Flintglaslinse an Dicke abgeht, der Crown- und Flintglaslinse zu gute kommt, und umgekehrt. Es sei demnach für jede der beiden Linsen

$$\frac{d}{f} = 0,00434.$$

Da es naheliegende Rücksichten verboten, die Objective der obigen Achromaten auseinander zu nehmen und auf ihre Krümmung zu untersuchen, so wählt der Verfasser zwei, nahe vierfüßigen Fernröhren entsprechende Combinationen aus Precht's Practischer Dioptrik, um das übrige Material zu gewinnen.

ERSTE COMBINATION.

Halbmesser der vorderen Fläche der Crown- und Flintglas-Linse	=	31,519 Par. Z.
„ „ hinteren „ „ „	=	— 10,212 „ „
„ „ vorderen „ „ Flintglas	=	— 10,396 „ „
„ „ hinteren „ „ „	=	— 55,476 „ „
Brechungs-Index für Crown- und Flintglas	=	1,528
„ „ „ „ „	=	1,616.

Demnach haben wir:

$$\Delta\alpha \text{ für die Crown- und Flintglas-Linse} = \left(1,528^2 - \frac{10,212}{41,722}\right) \cdot 0,00434 \cdot \frac{20'',255}{1,528} = 0'',1202$$

$$\Delta\alpha \text{ „ „ Flintglas „} = \left(1,616^2 - \frac{55,476}{45,080}\right) \cdot 0,00434 \cdot \frac{20'',255}{1,616} = 0'',0751$$

$$\text{Gesamtwirkung} \dots\dots\dots = 0'',1953$$

Mit dieser Combination würde man also folgende Aberration haben:

$$20'',255 + 0'',1953 = 20'',4503.$$

ZWEITE COMBINATION.

Halbmesser der vorderen Fläche der Crown Glas-Linse	=	41,800	Par. Z.
„ „ hinteren „ „ „ „	=	- 16,638	„ „
„ „ vorderen „ „ Flintglas	=	- 16,972	„ „
„ „ hinteren „ „ „ „	=	- 75,653	„ „

Brechungs-Indices wie vorhin.

Hier wird nach Formel I:

$$\Delta \alpha \text{ für die Crown Glas-Linse} = \left(1,528^2 - \frac{16,638}{58,438}\right) \cdot 0,00434 \cdot \frac{20'',255}{1,528} = 0'',1179$$

$$\Delta \alpha \text{ „ „ Flintglas „} = \left(1,616^2 - \frac{75,653}{58,681}\right) \cdot 0,00434 \cdot \frac{20'',255}{1,616} = 0'',0719$$

$$\text{Gesamtwirkung} \dots \dots \dots = 0'',1898$$

Mit dieser Combination würde man die Aberrations-
constante

$$20'',255 + 0'',1898 = 20'',4448$$

erhalten.

Man sieht aus diesen Beispielen, dass die Delambre'sche Constante vollkommen mit der Struve'schen übereinstimmt, wenn man nur an die erstere, dieser neuen Theorie gemäss, die Wirkung der Objectivlinse anbringt.

Als Verfasser vor längerer Zeit die Ansicht zuerst in motivirter Weise aussprach, dass Fresnel's Hypothesen über die Entrainirung des Aethers in den Mitteln die Wirkung der Mittel im Innern eines Fernrohrs unberührt lassen, und dass sich daher auch der Unterschied zwischen Struve's und Delambre's Aberration auf solche Objectivwirkung zurückführen lasse, war von ihm in der deshalb angestellten Schätzung der Einfluss der Krümmungshalbmesser der Linsen vernachlässigt. Dieser letztere besteht hauptsächlich in der Verlegung des zweiten Hauptpunktes, wie die Ableitung der Formel I. erkennen lässt; er kann sehr merklich werden.

ANHANG.

Ausführung des von Boscovich vorgeschlagenen Versuches der Beobachtung von Sternen durch eine Säule mit Flüssigkeit, welche im Innern eines Fernrohrs angebracht ist.

Die erste Ausführung des Boscovich'schen Versuches muss in den Anhang zu der vorhergehenden Abhandlung verwiesen werden, da sie nur den *Anfang* einer Reihe von Experimenten bildet, welche zum Studium der Aberration und zu einer vollständigeren Prüfung der Theorie dienen sollen. Der dazu hergestellte Apparat, von dem hier eine Zeichnung und kurze Beschreibung geliefert wird, soll an einem kleinen Passagen-Instrumente von Ertel, welches sich im Besitz der Göttinger Sternwarte befindet, angebracht werden; indessen ist dieses Instrument schon fast seit einem Jahre für telegraphische Längenbestimmungen, welche einen Aufschub nicht wohl zulassen, vom Verfasser selbst und von anderen Astronomen in Gebrauch genommen gewesen, und nur während einer kurzen Unterbrechung von wenigen Tagen in diesen Arbeiten, war es vergönnt, den Boscovich'schen Versuch wenigstens einmal anzustellen. Bei dem getroffenen Arrangement forderte die Theorie eine so bedeutende Vergrößerung der Aberration, dass die zu erwartenden Unsicherheiten der Beobachtung das Resultat nicht sehr entstellen konnten und dass ein einziger Versuch dieser Art wenigstens dazu hinreichte, die Richtigkeit der Theorie entweder recht wahrscheinlich, oder auch sehr unwahrscheinlich zu machen.

Mit nicht geringer Spannung in Betreff des Resultats wurde also vorläufig, und bis das Instrument *ganz* dieser

Untersuchung gewidmet werden kann, der Apparat justirt und einmal in Anwendung gebracht. Das Resultat bestätigt des Verfassers Deductionen, oder vielmehr, trägt dem, was die Vergleichung der beiden Aberrations-Constanten mit der Wirkung der Objective lehrte, noch etwas Erhebliches an Wahrscheinlichkeit hinzu. Es versteht sich wohl im Uebrigen von selbst, dass die *einmalige* Anstellung eines solchen Fundamentalversuches nicht genügen kann, ein definitives Urtheil zu bilden.

Es folgt hier die Beschreibung des, auf der Werkstätte des Herrn Dr. Meyerstein ausgeführten, Apparates, welcher sich in den wesentlichsten Punkten sehr gut bewährt hat, und der daher auch für die Fortsetzung der Versuche vom Verfasser beibehalten werden wird.

Fig. 4 stellt ein Passagen-Instrument mit gebrochener Axe vor, bei welchem zwischen Prisma und Objectiv ein, mit einer Flüssigkeit angefüllter, von den Planparallel-Gläsern p und p' geschlossener gläserner Cylinder eingeschaltet ist. Mit dieser Flüssigkeitssäule communicirt das zur Seite des Fernrohrs angebrachte Hülsrohr, welches, an Länge die Säule überragend, sowohl zur Füllung der Säule, als zur Aufnahme der Luftblase dient. Diese Vorsicht ist offenbar durchaus nothwendig; denn wenn die Säule nicht immer vollständig gefüllt wäre und die Flüssigkeit eine freie Oberfläche hätte, würde man niemals auf ein brauchbares Bild rechnen dürfen. Die Planparallel-Platten p und p' sind, durch eine mit einem Schraubengange versehene, metallene Fassung, nach Ausweis der Zeichnung, befestigt. Nahe den beiden Enden der Säule wird die Fassung derselben durch die Schrauben c und c' gehalten, jedoch an beiden Punkten in verschiedener Weise. Bei c befindet sich die Fassung in einem doppelten Ringe, so dass Compass-Aufhängung hergestellt wird und die Axe der Säule frei bewegt werden kann, während der im Mittelpunkt der Ringe gelegene Punkt der Axe in Ruhe bleibt. Bei dieser Einrichtung kann die Axe durch die Correctionsschrauben bei c' horizontal und vertical bewegt werden, ohne dass in der Fassung eine schädliche Spannung entsteht. Es kann demnach die Axe, oder die Normale zu den Platten p und p' mit der Objectivaxe nahe übereinstimmend gemacht werden.

Das Objectiv des Fernrohrs befindet sich in einer beson-

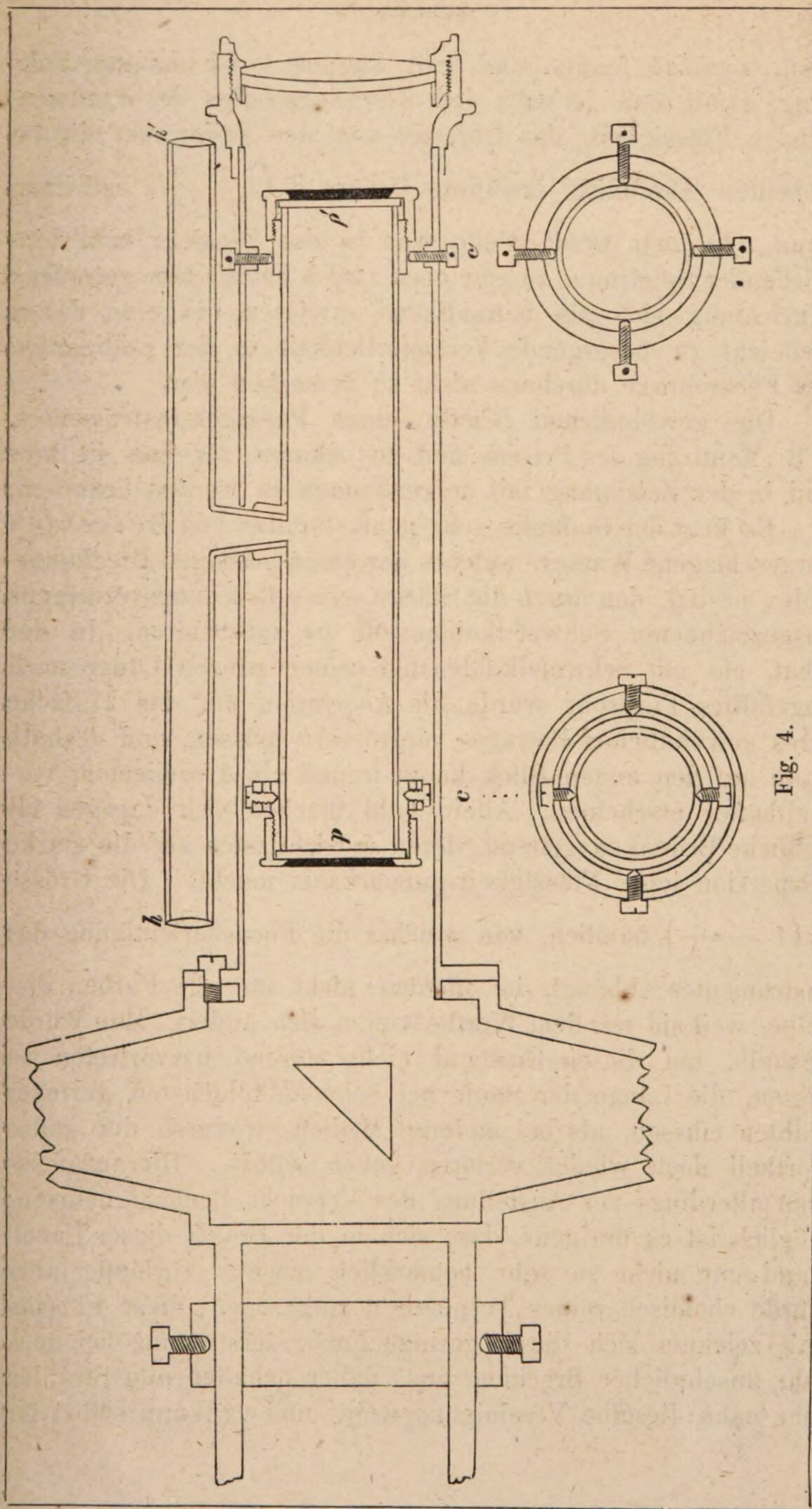


Fig. 4.

dern, ziemlich langen und sehr knappen und sicheren Führung, damit man, je nach dem Brechungs-Index der anzuwendenden Flüssigkeit, das Objectiv von den Fäden um die im siebenten Abschnitte erwähnte Grösse $d \left(1 - \frac{1}{n}\right)$ entfernen

kann. An dem Ocular-Ende war in der Hinsicht kein hinreichender Spielraum zu gewinnen; auch hat die hier getroffene Einrichtung sich als befriedigend erwiesen, da eine davon vielleicht zu besorgende Veränderlichkeit in der Collimation der Fernrohraxe durchaus nicht zu bemerken war.

Die gewöhnlichen Theile eines Passagen-Instrumentes, z. B. Montirung des Prisma sind zu bekannt, als dass sie hier und in der Zeichnung mit aufgenommen zu werden brauchen.

Es liegt der Gedanke sehr nahe, für das von Boscovich vorgeschlagene Wasser, welches nur einen mässigen Brechungs-Index besitzt, den durch die Stärke seines Brechungsvermögens ausgezeichneten Schwefelkohlenstoff zu substituiren. In der That, ein mit Schwefelkohlenstoff seiner ganzen Länge nach angefülltes Fernrohr würde die Aberration auf das $2\frac{2}{3}$ fache ihres gewöhnlichen Betrages vergrössern müssen, und deshalb kann auf den ersten Blick kaum irgend ein Arrangement vortheilhafter erscheinen. Allein bald machen sich dagegen erhebliche Bedenken geltend, deren gewichtigstes auf die starke Dispersion jener Flüssigkeit aufmerksam macht. Die Grösse $d \left(1 - \frac{1}{n}\right)$ nämlich, von welcher die Focusberichtigung des Instrumentes abhängt, ist offenbar nicht für alle Farben dieselbe, weil sie mit dem Werthe von n sich ändert. Man würde deshalb, um diesen Umstand nicht störend hervortreten zu lassen, die Länge der Säule bei Schwefelkohlenstoff geringer wählen müssen, als bei anderen Medien, wodurch der ganze Vortheil doch wieder verloren gehen würde. Hierauf muss man allerdings vor Anstellung des Versuchs Bedacht nehmen; möglich ist es übrigens, dass sich in der Praxis dieser Uebelstand gar nicht so sehr bemerklich macht. Vorläufig aber wurde chemisch reines Terpentinöl vorgezogen; diese Flüssigkeit zeichnet sich durch geringe Farbenzerstreuung bei noch sehr ansehnlicher Brechung aus, daher behalten alle Strahlen sehr nahe dieselbe Vereinigungsweite und es kann selbst für

eine recht lange Säule ein sehr gutes, in jeder Beziehung correctes Bild erhalten werden. Ausserdem besitzt das Terpentinöl ein geringes specifisches Gewicht und einen ausserordentlich hohen Grad von Durchsichtigkeit, welches Beides hier gut zu statten kommt.

Statt einer Flüssigkeit ist auch wohl Glas in Vorschlag gebracht worden; es ist aber bekanntlich sehr schwierig, eine homogene Glassäule von einiger Länge herzustellen und gewiss würde das Experiment mit Glas ausserordentlich kostspielig werden.

Der hier befolgten Anordnung des Versuches liegt im Uebrigen eine sehr einfache Betrachtung zu Grunde. Bestimmt man an einem, wie eben beschrieben, durch Einschaltung einer Flüssigkeits-Säule modificirten Instrumente, durch Beobachtungen von Fixsternen und an der Sonne den *Gang* einer Uhr, so wird derselbe nicht mehr mit dem, durch ein gewöhnliches Instrument, an denselben Objecten zu erhaltenden Gange der Uhr übereinstimmen, wenigstens nicht mehr, wenn man für das modificirte Instrument die *gewöhnliche* Aberrations-Constante zu Grunde legt.

Der betreffende Unterschied wird sich am stärksten zeigen, wenn man Mittags die Sonne und um Mitternacht Sterne beobachtet, weil bei der ersteren die Aberration im negativen, bei den letzteren im positiven Maximum ist. Es wird demnach eine genau richtig gehende Uhr nahezu um den doppelten Betrag der Aberrations-Vergrösserung vorzueilen scheinen, wenn man die gewöhnliche Reduction vornimmt; eilt die Uhr aber wirklich vor, so wird ihr Voreilen um den eben angegebenen Betrag grösser gefunden, als es wirklich ist. Es gehört zu Anstellung des Versuches nach dieser Methode also ein zweiter Beobachter, der an einem Meridian-Instrumente von gewöhnlicher Einrichtung den Gang zwischen den beiden Epochen bestimmt. In Uebernahme dieser Rolle beobachtete in dem unten folgenden Versuche der Assistent der Göttinger Sternwarte, Herr Börgen, dieselben Objecte an dem Reichenbach'schen Meridiankreis-Fernrohr, welche gleichzeitig der Verfasser an dem Passagen-Instrumente mit Flüssigkeits-säule observirte. Letzteres, mit einem Fernrohre von 21 Par. Linien Oeffnung und 18 Zoll Brennweite, war bei 50 maliger

Vergrösserung geeignet, den Stand der Uhr bis auf einen geringen Bruchtheil einer Secunde zu geben, wie sich wenigstens bei den Längenbestimmungen gezeigt hatte. Um aber von gesetzmässigen Fehlern so gut wie ganz unabhängig zu werden, wurden nur Objecte in demselben Parallel verglichen, des Mittags die Sonne mit allen bekannten Vorsichtsmassregeln, gegen Mitternacht Sterne im Parallel der Sonne, wie an dem Tage des Versuches β und δ Herculis. Es kommt bei diesem Arrangement offenbar auf die *genaue* Kenntniss der Instrumental-Correctionen nichts an, sondern nur auf deren etwaige Aenderungen, und darauf, dass man sich überzeugt, dass Aenderungen im Gange der Uhr, welche man findet, nicht Aenderungen in Aufstellung des Instrumentes ihren Ursprung verdanken. Die Veränderungen von Collimationsfehler und Azimuth konnten an einer Mire geprüft und gemessen werden, und hatten schon früher, wie auch während des Versuchs, einen hohen Grad von Unveränderlichkeit gezeigt. Die Neigung der horizontalen Umdrehungs-Axe zeigte sich weniger constant, jedoch nicht in dem Grade, dass die Zuverlässigkeit der Beobachtungen darunter gelitten hätte.

Man sieht leicht ein, dass bei dem beschriebenen Verfahren, bei welchem man auf absolute Zeitbestimmungen mit dem modificirten Instrumente verzichtet, man ebenfalls von allen Unregelmässigkeiten des Uhrganges gänzlich unabhängig wird, da an beiden Instrumenten dieselben Objecte beobachtet werden. Aus diesem Grunde ist es denn auch ganz gleichgültig, ob die Objecte in ihrer Rectascension gut bekannt, d. h. Fundamental-Sterne sind, oder nicht; ein jeder Stern ist brauchbar, der gut sichtbar ist.

Nach dioptrischen Grundsätzen durfte bei einer Säule von 8 Par. Zoll Länge noch ein vollkommen gutes Bild erwartet werden, wie sich denn auch bewährte. Das Bild befriedigte nicht nur in Hinsicht der Schärfe, es war auch überraschend, dass, obgleich das Objectiv, des geringeren Durchmessers der Säule wegen, bis auf etwa 15 Par. Linien Oeffnung abgeblendet war, dennoch, bei den Anstalten zu annäherter Orientirung, δ urs. min. ohne alle Schwierigkeit beobachtet werden konnte. So gross war die Durchsichtigkeit

der Säule, dass selbst der feine Faden der Mire deutlich sichtbar war. Nachher freilich erlitt diese Durchsichtigkeit durch einen kleinen, weil leicht zu beseitigenden, Uebelstand des Apparates merkliche Einbusse. Bei der Justirung der Säule hatte die Dichtigkeit des Schlusses derselben wenigstens soweit gelitten, dass eine sehr geringe Quantität der Flüssigkeit einen Ausgang gefunden hatte, und durch zeitweilige Bildung eines sehr feinen Niederschlags auf den die Säule schliessenden Platten die Beobachtung schwächerer Sterne schwierig machte. Dieses zeigte sich schon bei δ Herculis, einem Sterne 4. Grösse, und nöthigte später, den Apparat aus einander zu nehmen, um diesen Mangel gründlich zu beseitigen.

Wir kennen bei dem angegebenen Verfahren keine Fehlerquelle, welche das Resultat zu fälschen vermöchte. Alles wird daher davon abhängen, wie genau man sieht, d. h. wie genau man die Fädenantritte (das Instrument hat 16 Fäden, nahezu symmetrisch zu einem ideellen Mittelfaden) beobachten kann, und ferner, welches die Grösse ist, durch welche sich der Einfluss der Flüssigkeitssäule äussert. Von dem Bilde sagten wir schon, dass es recht gut sei, und dem entspricht auch die Uebereinstimmung der Reductionen auf den Mittelfaden, von denen wir hier zur Probe die von β urs. min., eines langsam durch das Feld gehenden Circumpolarsternes, welcher zur Orientirung benutzt wurde, anführen wollen.

β urs. min. O. C.

14^h 58^m 52^s,61 Uhrzeit

52,63

53,08

52,41

52,75

52,56

53,62

52,67

53,38

52,48

53,22

52,91

53,03

51,86

53,07

53,16

Mittel: $14^h 58^m 52^s,84$ Uhrzeit.

Die grösste Abweichung eines Fadens vom Mittel beträgt hier $0^s,98$ im Parallel des Sternes, also nur etwa $\frac{1}{4}$ Secunde im Aequator. Ganz entsprechend stimmen die übrigen Culminationen, wie z. B. die der beiden Sonnenränder, welche, wie sämtliche Durchgänge, an allen 16 Fäden erhalten wurden.

Die Frage, wie gross der Einfluss der Flüssigkeitssäule sich zeigen müsse, können wir nach der Formel II. des Abschnittes VII leicht beantworten, wenigstens sehr angenähert; die *genauen* Maasse kann Verfasser gegenwärtig nicht ermitteln, da das Instrument wegen vorläufiger anderweitiger Verwendung nicht zur Hand ist.

Es ist für diese erste Vergleichung nahe genug:

$$d = 8 \text{ Par. Zoll}$$

$$f = 18 \quad \text{,,} \quad \text{,,}$$

$$n = 1,47$$

also das zu erwartende $\Delta \alpha$

$$= (1,47^2 - 1) \cdot \frac{8}{18} \cdot \frac{20'',255}{1,47} = 7'',1098.$$

Zu diesem Effecte können wir noch den auf $0'',91$ veranschlagten des Glasprisma addiren (der des Objectivs steckt schon in der Jahrbuchs-Constante $20'',4451$). Die Vergrösserung der Aberrations-Constante wird also betragen

$$7'',11 + 0'',91 = 8'',02.$$

Wir müssen nun noch berechnen, wieviel durch diesen Zuwachs die Rectascension der Sonne vermindert, die der beiden Vergleichsterne β Herculis und δ Herculis, von denen der erstere etwas südlich vom Parallel der Sonne, der andere fast genau ebensoviel nördlich stand, vergrössert wird. Der Tag der Beobachtungen war 1867, Juni 12. Es finden sich mit Struve's Aberration berechnet, die scheinbaren Rectascensionen der genannten Objecte wie folgt:

$\odot$	$AR = 5^h 20^m 42^s,70$
β Herculis	16 24 32,48
δ Herculis	17 9 36,48;

mit *diesen* Oertern sind die an dem Reichenbach'schen Meridiankreise erhaltenen Durchgänge zu vergleichen, um den Gang der Uhr zu haben. Dagegen erhalten wir nach bekannten Vorschriften folgende Oerter, welche bei der Flüssigkeits-Säule angewendet werden mussten, um einen mit jenem übereinstimmenden Gang zu geben.

$\odot$	$AR = 5^h 20^m 42^s,70 - 0^s,58 = 5^h 20^m 42^s,12$
β Herculis	16 24 32,48 + 0,55 = 16 24 33,03
δ Herculis	17 9 36,48 + 0,59 = 17 9 37,07.

Bei der Vergleichung der Sonne mit dem Mittel der beiden Sterne handelt es sich demnach um die Grösse von $1^s,15$, um welchen Betrag die Beobachtungen mit der Flüssigkeits-Säule das Voreilen der Uhr zu stark ergeben würden, wenn man sie mit den Oertern der Jahrbücher, d. h. mit der gewöhnlichen Constante reducirte. Verfahren wir wirklich auf diese Art, so finden wir in der That für beide Instrumente Folgendes:

Meridiankreis, Beobachter: Börgen.

Voreilen zwischen $\odot$ und β Herculis	$1^s,65$
„ „ $\odot$ „ δ Herculis	$2,02$

Passagen-Instrument, Beobachter: Klinkerfues.

Voreilen gleich	$2^s,94$
„ „	$2,78.$

Das Voreilen wird also an dem letzteren Instrumente um $1^s,025$ im Mittel zu stark gefunden, während die vorgetragene Theorie $1^s,15$ verlangte. Nimmt man dagegen für das modificirte Instrument die oben gegebenen modificirten Rectascensionen, so muss man, nach derselben Theorie, den Gang im Mittel wie am ersten Instrument erhalten.

Bei *dieser* Reduction erhält man für den Gang am Passagen-Instrument

von $\odot$ bis β Herculis	$1^s,81$
„ $\odot$ „ δ „	$1,61$
im Mittel	$1,71$

während derselbe Gang nach gewöhnlichen Mitteln gleich $1^s,83$ gefunden wurde.

Wir wollen diesem einzelnen Versuche eine Entscheidung noch nicht zuschreiben, immerhin neigt sich aber auch diese Erfahrung auf die Seite der Ansicht, *dass die Aberrations-Constante vom Instrumente abhängt*, trotz der translatorischen Bewegung des Aethers *in* und *ausser* dem Fernrohre. Die entgegengesetzte Ansicht kann nämlich nicht nur durchaus kein der Erfahrung entnommenes Indicium für sich anführen, es können auch nach der Wellentheorie die dafür aufgestellten Gründe nicht als stichhaltig gelten. Der Verfasser glaubt in vorliegender Abhandlung diese letztere Behauptung hinreichend begründet zu haben, was er sich als Hauptaufgabe stellte.

C. Wurm
Buchbinder
Maximil. Platz 14

Klinkerfues, Wilhelm,

Die Aberration der Fixsterne nach der Wellentheorie

Leipzig 1867

Astr.p. 75 s

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10060538-3